

ПАЛЕОКРИОГЕНЕЗ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ

УДК 551.345

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ МЕРЗЛОТНО-ТАЕЖНЫХ ПОЧВ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Р.В. Десяткин, А.Р. Десяткин, П.П. Федоров

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41; rudes@ibpc.ysn.ru

Изучена многолетняя динамика температурного режима мерзлотно-таежных почв под сосновыми, лиственничными и березовыми лесами в бассейне средней Лены. Полученные результаты показали большую разнородность и высокую динамичность тепловых параметров мерзлотно-таежных почв Центральной Якутии. Резкие колебания в обеспеченности теплом деятельного слоя почв как в пространстве, так и во времени свидетельствуют об актуальности изучения динамики баланса энергии в бореальных лесах.

Мерзлотно-таежные почвы, погодные условия, снежный покров, деятельный слой, температурный режим почв

TEMPERATURE REGIME OF THE FOREST SOILS, CENTRAL YAKUTIA

R.V. Desyatkin, A.R. Desyatkin, P.P. Fedorov

Institute of Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS, 677980, Yakutsk, pr. Lenina, 41; rudes@ibpc.ysn.ru

Long-term dynamics of temperature regime of the forest soils under the pine, larch and birch forest has been examined on the right bank of the Lena River. The obtained results have demonstrated strong diversity and high dynamics of thermal parameters of the cryosols in Central Yakutia. Drastic fluctuations of heat supply in the cryosol active layer, both in space and in time, testify to the urgency of studying of the dynamics of energy balance in boreal forest.

Frozen soils (cryosols), weather conditions, snow cover, active layer, soil temperature regime

В настоящее время появилось много публикаций, указывающих на глобальные изменения климата и их воздействие на региональный климат и параметры криолитозоны [Павлов, Москаленко, 2001; Скачков, 2001; Павлов и др., 2002; Павлов, 2003; Чудинова и др., 2003; Мажитова, Каверин, 2007; Сергеев и др., 2007; Федоров, Константинов, 2009; Малкова, 2010]. Однако при изучении термического режима многолетнемерзлых пород (ММП) недостаточное внимание уделяется характеристике почвенного слоя, представляющего собой ежегодно оттаивающий и промерзающий буферный слой между атмосферой и ММП.

Почвы, занимая самые верхние слои земной поверхности, оказывают влияние на формирование приземного климата и термического режима грунтов криолитозоны. Состав и строение почв, содержание органического вещества и влаги в них играют большую роль в гидротермическом режиме не только самой сезонно протаивающей и промерзающей почвы, но и подстилающих их мерзлых грунтов. Несмотря на такую важную роль почв в тепловом режиме ММП, в якутском секто-

ре криолитозоны годовой ход температур деятельного слоя до сих пор изучен недостаточно. В литературе детально охарактеризован лишь термический режим почв в теплое время года [Саввинов, 1976; Саввинов, Слетцов, 1987]. В мерзлотоведении понятие “почва” часто заменяется термином “сезоннотальный слой (СТС)” [Скрябин и др., 1998; Скачков, 2001; Варламов, 2002]. С инженерной точки зрения это может быть и допустимо, но с научной – неприемлемо, так как почва представляет собой самостоятельное природное тело. Она обладает рядом свойственных только ей характеристик: последовательная смена генетических горизонтов по вертикали, гумусовый, карбонатный, солевой профили, высокое содержание живой корневой массы растений и органического вещества и т. д. Имея разнородные генетические горизонты, часто гетерогенного характера, почва оказывает существенное влияние на тепловой режим верхних слоев ММП. Например, зная профильное распределение содержания органического вещества и гранулометрического состава почв, можно дать характеристику таких важных физических парамет-

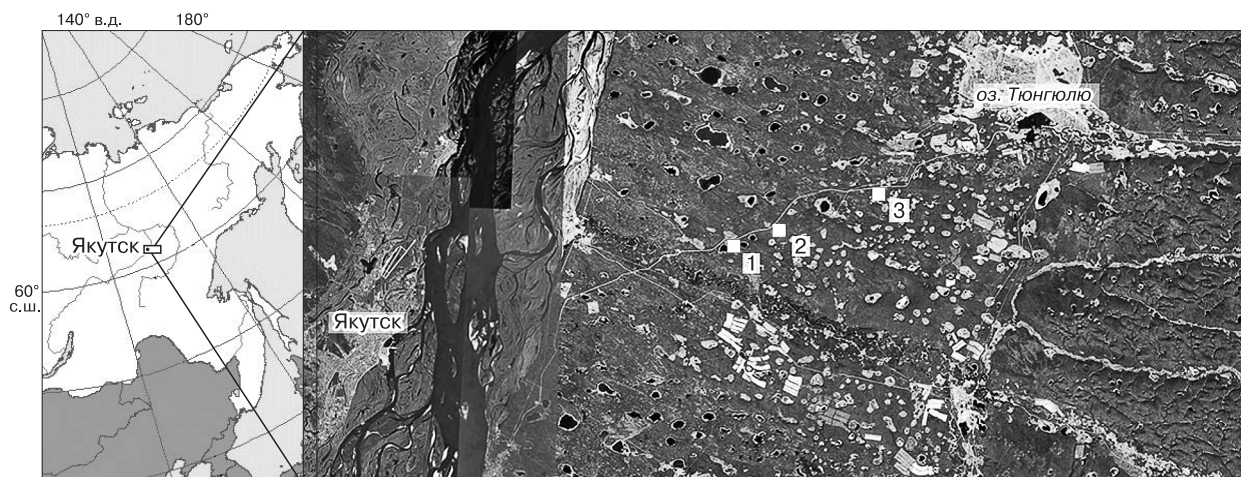


Рис. 1. Схема расположения точек наблюдения за температурным режимом мерзлотно-таежных почв.

1 – сосновый лес (62°06' с.ш., 130°14' в.д.); 2 – лиственный лес (62°07' с.ш., 130°18' в.д.); 3 – березовый лес (62°08' с.ш., 130°25' в.д.).

ров грунтов, как тепло- и влагопроводность, тепло- и влагоемкость и др. Без знания состава и свойств почв невозможно проводить моделирование и прогноз процессов, протекающих в толще ММП. В настоящей статье рассматриваются результаты девятилетнего мониторинга температурного режима мерзлотно-таежных почв и верхнего слоя ММП (2002–2010 гг.) в Центральной Якутии на правом берегу среднего течения р. Лены (рис. 1).

Точки наблюдения расположены в подзоне средней тайги, в лесах разных типов вдоль автомобильной дороги Якутск–Магадан (см. рис. 1).

Точка 1 – сосновый лес; координаты: 62°06' с.ш., 130°14' в.д. Рельеф ровный. Растительность – толокнянковый сосновый лес. Доминирует *Pinus sylvestris* L., очень малая примесь подроста *Larix gmelinii* Ledeb. Сомкнутость крон 0,6, высота первого яруса 17–18 м, второго яруса – 5–8 м. Подлесок развит слабо и образован *Rosa acicularis* Lindl. Травяно-кустарничковый ярус состоит из *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Phlox sibirica* L., *Carex pediformis* C.A. Mey, *Antennaria dioica* (L.) Gaertn. и др. Лишайники единичны. Почва мерзлотно-таежная палевая оподзоленная с формулой морфологического строения профиля: О (0–1 см)–А (1–6 см)–А2 (6–27 см)–Вfe (27–53 см)–ВСfe (53–150 см).

Точка 2 – лиственный лес; координаты: 62°07' с.ш., 130°18' в.д. Рельеф ровный. Растительность – багульниково-брусничный лиственный лес. Основная лесобразующая порода – *Larix gmelinii* Ledeb., сопутствует *Betula platyphylla* Sukacz. Сомкнутость крон 0,7, высота пород дре-

весного яруса 15–20 м. Подлесок развит слабо, состоит из *Rosa acicularis* Lindl., *Spiraea flexuosa* Fisch. В травяно-кустарничковом покрове (покрытие 60 %, средняя высота 25–35 см) преобладают *Ledum palustre* L. и *Vaccinium vitis-idaea* L. Встречаются *Arctous erythrocarpa* Small., *Geranium pratense* L., *Lathyrus humilis* Fisch., *Vicia amoena* Fisch., *Equisetum arvense* L., *Pyrola incarnata* Fisch. Количество видов доходит до 20. Почва мерзлотно-таежная палевая слабоосолодевшая с формулой морфологического строения профиля: О1 (0–2 см)–А (2–9 см)–Е (9–15 см)–В (15–43 см)–Вса (43–68 см)–ВСса (68–88 см).

Точка 3 – березовый лес; координаты: 62°08' с.ш., 130°25' в.д. Рельеф ровный. Сомкнутость крон 0,6. Доминирует *Betula platyphylla* Sukacz., высота до 8–10 м. В подлеске обычны *Salix bebbiana* Sarg., *Rosa acicularis* Lindl., *Ribes acidum* Turcz. В травостое обильны *Bromus ircutensis* Kom., *Poa pratensis* L., *Carex pediformis* C.A. Mey, *Sanguisorba officinalis* L., *Gallium verum* L., *Artemisia tanacetifolia* L. Обычны такие виды, как *Geranium pratense* L., *Lathyrus humilis* Fisch., *Vicia amoena* Fisch., *Achillea millefolium* L. Почва мерзлотно-таежная палевая с формулой морфологического строения профиля: А (1–5 см)–Вса (5–35 см)–ВС (35–72 см).

Температуры грунтов измерялись с использованием термисторов, изготовленных и тарированных в Институте мерзлотоведения СО РАН. Бурение мерзлого грунта на глубину 3–5 м и установка датчиков температуры проводились в первой декаде июня 2002 г. В сосновом и лиственном лесу (точки 1 и 2) термисторы установлены на глу-

бинах 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0, 1,2, 1,6, 2,4, 3,2 и 5,0 м, в березовом лесу – 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0, 1,2, 1,6, 2,4 и 3,2 м. Замеры сопротивления термисторов осуществлялись ежемесячно с помощью цифрового мультиметра YOKOGAWA 732, температура грунта в момент замера выводилась по калибровочным таблицам для каждого термистора индивидуально.

Погодные условия. Температурный режим поверхностных слоев земли формируется под влиянием погодных условий. Здесь определяющую роль играют температура воздуха и количество осадков на конкретной местности. За период наблюдений с 2002 по 2010 г. происходили заметные колебания температуры воздуха и количества осадков, что отчетливо видно на рис. 2. Начало наблюдений совпало с самым теплым и сухим годом за весь период. В 2002 г. среднегодовая температура составила всего $-7,6^{\circ}\text{C}$ (при норме $-10,2^{\circ}\text{C}$), годовое количество осадков 151 мм (при норме 210,6 мм). Лето было жарким и засушливым, сумма температур выше $+10^{\circ}\text{C}$ составила $1804,4^{\circ}\text{C}$, что заметно выше среднееголетней нормы активных температур (1610°C). Количество осадков теплого периода составляет всего 89 мм (при норме 137 мм), т. е. 65 % от нормы.

Самым холодным за изученный период оказался 2004 год, среднегодовая температура которого была близка к многолетней норме и равна $-9,8^{\circ}\text{C}$. За год выпало близкое к норме количество осадков. Летний сезон года характеризовался

прохладной погодой со средней температурой воздуха $11,9^{\circ}\text{C}$ (при норме $12,3^{\circ}\text{C}$), сумма активных температур составила $1533,8^{\circ}\text{C}$, что чуть меньше среднееголетней нормы. За лето выпало осадков меньше многолетней нормы (128 мм).

В целом среднегодовая температура воздуха на рассматриваемой территории в период наблюдений оказалась выше многолетней нормы на $2,1^{\circ}\text{C}$ и равнялась $-8,1^{\circ}\text{C}$. Отклонение от средней многолетней нормы в самый холодный год изученного периода составило $0,4^{\circ}\text{C}$ (2004 г.), в самый теплый год равно $3,0^{\circ}\text{C}$ (2008 г.). Средняя температура теплого периода года за девять лет наблюдений составляет $13,2^{\circ}\text{C}$, т. е. 107,3 % многолетней нормы средних летних температур за весь период наблюдений. Только летом 2004 и 2008 гг. средние температуры сезона не достигали многолетней нормы, в остальные шесть лет этот показатель значительно превышал норму. Колебания среднегодовых температур воздуха от нормы составляли от 70,6 % (2009 г.) до 96,1 % (2004 г.), летних – от 96,7 % (2004 г.) до 116,5 % (2009 г.).

Если колебания температурных условий отдельных лет за изученный период не превышали 30 % от многолетней нормы, то колебания количества осадков по годам оказались более существенными. Так, в период 2002–2010 гг. в год выпадало от 71,7 % (2002 г.) до 154,8 % (2006 г.) многолетней нормы осадков. За теплый период года разброс колебаний количества осадков был еще

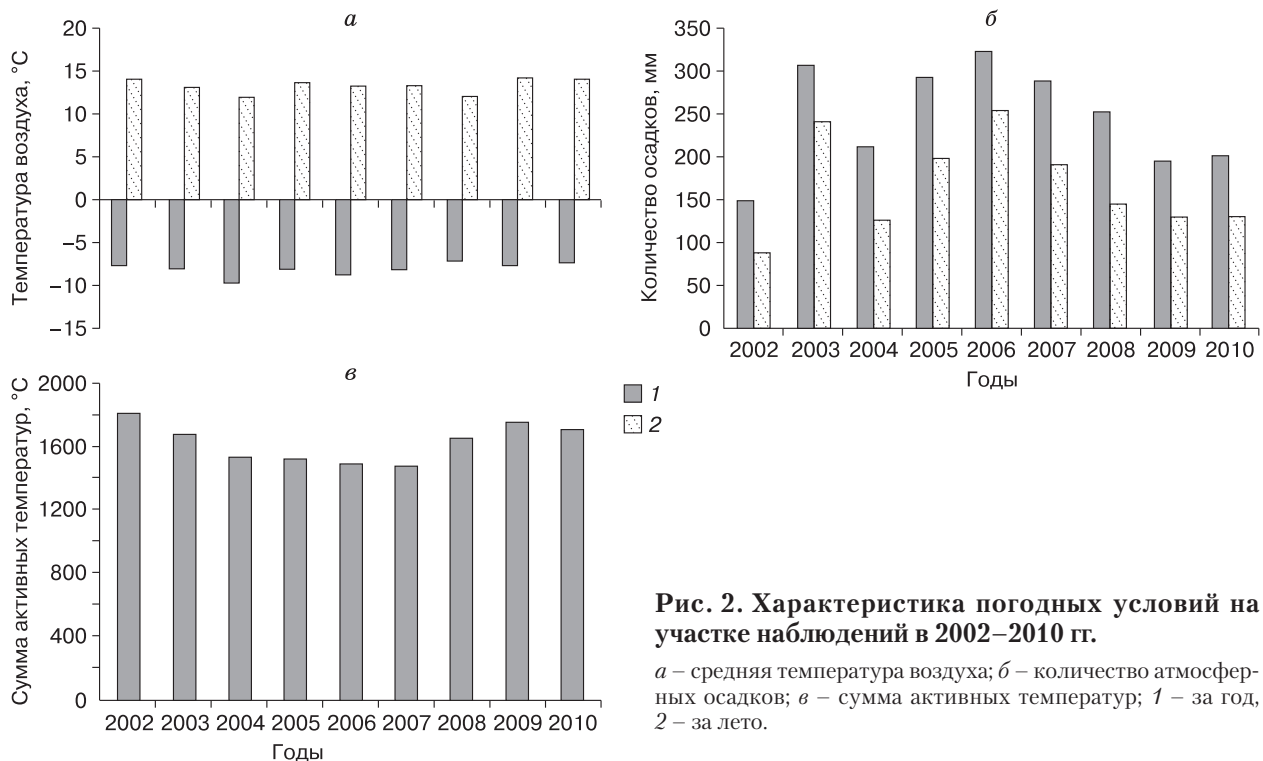


Рис. 2. Характеристика погодных условий на участке наблюдений в 2002–2010 гг.

а – средняя температура воздуха; *б* – количество атмосферных осадков; *в* – сумма активных температур; 1 – за год, 2 – за лето.

больше и составлял от 64,9 % (2002 г.) до 186,9 % (2006 г.) среднелетней нормы.

Таким образом, за годы исследований температурного режима почв (2002–2010) отмечены существенные колебания сумм активных и среднегодовых температур, которые достигали 22–36 %. Теплых сезонов года с превышением средней суммы активных температур было пять: 2002, 2003, 2008, 2009 и 2010 гг. Остальные годы по сумме активных температур были холоднее многолетней нормы (2004–2007). По сумме летних и годовых осадков колебания выражены заметнее. Преобладают влажные годы: осадков (особенно летних) выпадает больше нормы. К недостаточно обеспеченным осадками годам относятся 2002, 2004, 2009 и 2010 гг. Влажных лет с количеством летних осадков, существенно превышающих среднемноголетнюю норму (до 139–185 %), из девяти лет было пять (2003, 2005–2008).

Снежный покров не только оказывает существенное влияние на климат леса в холодный период года, но и формирует термический режим грунтов в зимнее время. Обладая малой теплопроводностью, снег затрудняет теплообмен между воздухом и почвой и предохраняет ее от сильного переохлаждения. При этом большую роль в формировании термического режима почв играет высота снежного покрова. В Центральной Якутии среднее из наибольших декадных высот снежного покрова за зиму составляет на открытых участках 30 см, на защищенных участках (в лесу) – 34 см [Климат..., 1982]. Максимальная высота снежного покрова на изученной территории устанавливается в феврале – начале апреля, за время наблюдений этот показатель имел существенные колебания по годам (рис. 3). Тип леса оказывал незначительное влияние на высоту снега, разница высоты снега под разными лесами в большинстве случаев составляла всего 2–3 см, исключение отмечено зимой 2004/05 г., когда этот показатель достиг 6 см.

Из девяти лет три года (2003, 2009, 2010) имели малоснежные зимы (2002/03, 2008/09, 2009/10), когда максимальная высота снега составляла 56 и 82 % от многолетней нормы. Зимой 2003/04, 2005/06 и 2007/08 гг. высота снежного покрова превышала многолетнюю норму на 118–129 %. Две зимы (2004/05 и 2006/07 гг.) характеризовались исключительно мощным снежным покровом, когда максимальная высота снега превышала многолетнюю норму на 160–176 %. Как показывают снегомерные съемки, с конца марта уже начинается испарение влаги с поверхности снега, в марте–апреле испаряется примерно 20–40 мм влаги. Сход снежного покрова на открытых местах начинается с середины апреля, а в лесу – в последней пятнадцатке апреля. Полный сход снежного покрова на открытых местах отмечался к 30 апреля–4 мая, а в лесу – к 5–8 мая.

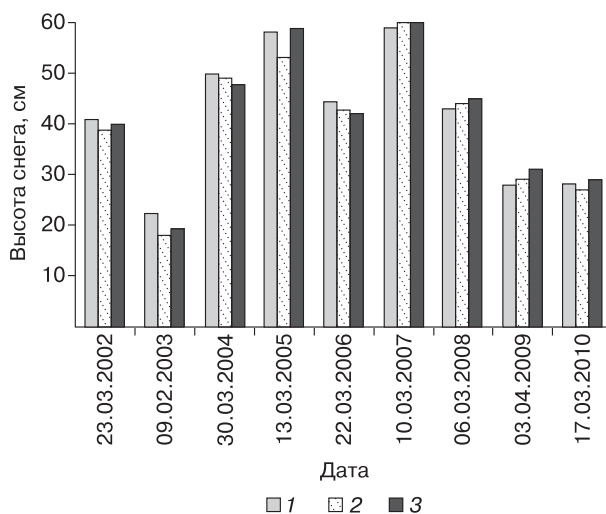


Рис. 3. Максимальная высота снежного покрова в лесу.

1 – сосновый лес; 2 – лиственничный лес; 3 – березовый лес.

Температурный режим почв. Все изученные почвы относятся к типу мерзлотно-таежных палевых. Среднегодовая температура почв отрицательная. После схода снежного покрова весной почвы начинают медленно протаивать и нагреваться. Лучше всего прогреваются сухие слабозатененные почвы под сосновыми лесами (рис. 4). По сравнению с почвами лиственничных и березовых лесов мерзлотно-таежные оподзоленные почвы под сосновыми лесами больше обеспечены теплом. В этих почвах активные температуры ($>10^{\circ}\text{C}$) в слое 0–0,2 м устанавливаются уже в начале июня и господствуют до первой декады сентября. В наиболее теплые годы в слое 0–20 см температуры достигают 20°C . Температуры $>10^{\circ}\text{C}$ в почвах соснового леса распространяются на глубину до 0,4 м, достигая иногда 0,6 м (2003 и 2005 гг.). Максимальное прогревание верхних горизонтов почв (0–0,6 м) наступает во второй половине июля, затем идет постепенное снижение температур. Ниже, в слое 0,8–1,2 м, прогревание продолжается до конца второй декады августа. В нижней половине профиля почвы (1,6–2,4 м) летние температуры держатся на уровне $0,2\text{--}2,5^{\circ}\text{C}$. В годы наблюдений мерзлотно-таежные палевые оподзоленные почвы оттаивали за лето на глубину от 2,0 до 2,7 м (рис. 5).

Мерзлотно-таежные палевые слабоосолоделые почвы под лиственничными лесами протаивали и прогревались медленнее других почв, так как их более влажные нижние горизонты за зиму аккумулялировали значительный запас холода. За время наблюдений на площадках лиственничных лесов активное тепло ($>10^{\circ}\text{C}$) распространялось

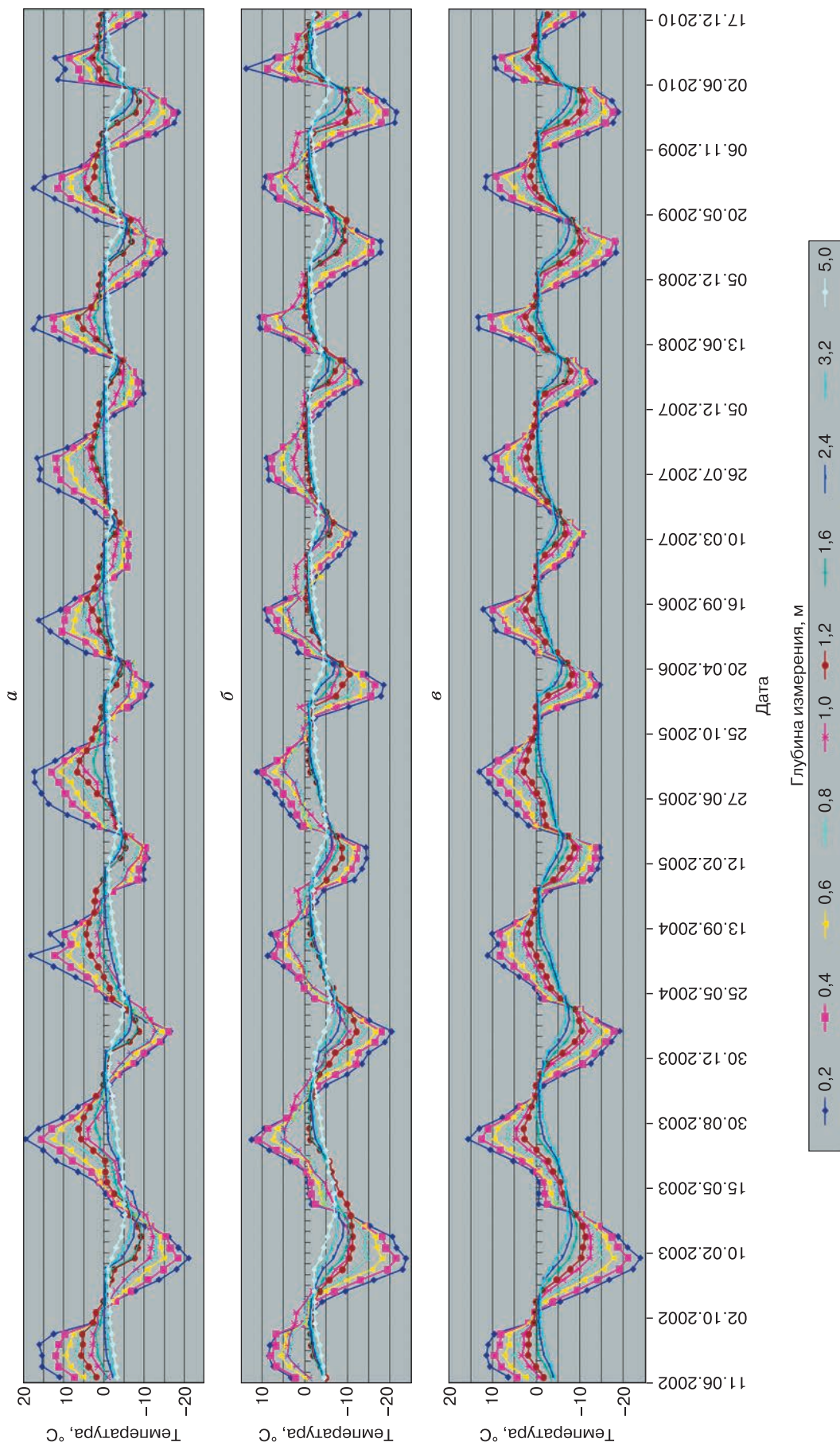


Рис. 4. Температурный режим почв в период с июня 2002 г. по декабрь 2010 г.

a – мерзлотно-таежные палевые оподзоленные почвы в сосновом лесу; *б* – мерзлотно-таежные палевые слабооподзоленные почвы в лиственныйном лесу; *в* – мерзлотно-таежные палевые почвы в березовом лесу.

только на самые поверхностные слои почвы. В наиболее благоприятные сезоны (2003, 2005, 2008 и 2010 гг.) в мерзлотно-таежных палевых почвах под лиственничными лесами активные температуры достигали глубины 0,2 м, и только один раз из девяти лет (2003 г.) они проникли вглубь до 40 см (см. рис. 4). В верхнем 0–0,2 м слое активные температуры устанавливаются со второй половины июля по конец первой декады августа. Ниже, в слое 0,6–1,0 м, максимальное прогревание почвы происходит в конце июля – начале августа. В нижней части профиля почвы (1,0–1,2 м) летние температуры держатся на уровне 0,2–1,5 °С. В годы наблюдений мерзлотно-таежные палевые слабоосолодевшие почвы оттаивали за лето на глубину от 1,2 до 1,5 м (см. рис. 5).

Почвы березового леса занимают промежуточное положение между почвами сосновых и лиственничных лесов, активные температуры в них распространяются, как правило, на глубину более 0,2 м, охватывая в большинстве случаев слой 0–40 см. Наибольшее прогревание верхнего слоя почвы (0–40 см) здесь происходит в период между последней декадой июня и третьей декадой августа. Ниже, в слое 0,6–1,0 м, максимальное прогревание почвы происходит в конце июля – начале августа. В нижней части профиля почвы (1,0–1,6 м) летние температуры держатся на уровне 0,2–1,5 °С. В годы наблюдений мерзлотно-таежные палевые почвы оттаивали за лето на глубину от 1,3 до 1,9 м (см. рис. 5).

По термическому режиму в теплое время года можно провести классификацию мерзлотно-таежных палевых почв Центральной Якутии. Главные классификационные признаки: глубина распространения активных температур (+10 °С и выше); максимальная глубина оттаивания.

Температура +10 °С в почве лиственничного и березового лесов отмечалась только в тонком поверхностном слое, максимальная глубина оттаивания почв достигала 1,5–1,9 м. Термический режим почв под лиственничными и березовыми лесами можно отнести к мерзлотному холодному подтипу. Более высокие температуры отмечались в почвах соснового леса. Температура +10 °С в период нарастания высоких температур в июле достигала глубины 0,6 м и более. Максимальная глубина оттаивания почвы составляла 2,7 м. Термический режим почвы под сосновыми лесами можно отнести к мерзлотному умеренному подтипу.

После перехода среднесуточных температур воздуха через 0 °С начинается промерзание самых верхних слоев почв. Полное установление отрицательных температур в слое 0–20 см в мерзлотно-таежных палевых почвах березняка за годы наблюдений в среднем наступало в последних числах октября. В сосновом лесу минусовые температуры

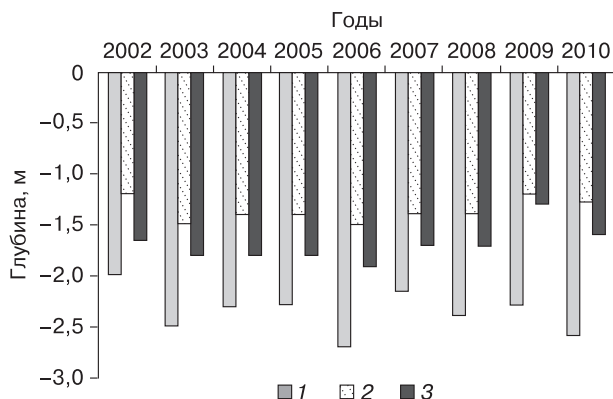


Рис. 5. Глубина сезонного протаивания мерзлотно-таежных почв.

1 – сосновый лес; 2 – лиственничный лес; 3 – березовый лес.

в самом верхнем слое устанавливались в первой декаде ноября, а в наиболее холодном лиственничном лесу – уже в начале октября. Сроки смыкания вечной и сезонной мерзлоты в почвах зависят от погодных условий года [Павлов и др., 1984]. В засушливые годы осенне-зимнее промерзание почв шло быстрее, а во влажные годы этот процесс задерживался ввиду больших затрат тепла на фазовый переход влаги. Так, в сухие годы в почвах березняка смыкание сезонной и многолетней мерзлоты наступало во второй половине октября на глубине 0,8–1,0 м, в почвах лиственничного леса – в середине ноября на той же глубине, а в почвах соснового леса – в конце первой половины декабря на глубине 1,2–1,6 м.

Вслед за дождливым летне-осенним периодом промерзание почв шло медленнее, сроки смыкания сезонной и многолетней мерзлоты затягивались. Так, в осенне-зимний период 2006 и 2007 гг. смыкание мерзлоты происходило в почвах соснового леса в начале февраля следующего года на глубине 1,6 м, в почвах лиственничных лесов – в конце декабря на глубине 1,0 м и в почвах березового леса – в то же время на глубине 1,2 м.

После полного промерзания почв до конца января идет постепенное понижение температур по всему их профилю, но на всех точках в январе отмечается более высокая температура, чем в феврале. Такое явление объясняется тем, что в Центральной Якутии максимальное похолодание почв в годовом ходе температур, как правило, наступает в феврале. Это обусловлено отставанием минимальных температур воздуха от притока солнечной радиации. В умеренных широтах минимум солнечной радиации характерен для декабря, когда высота солнца наименьшая, а минимум температуры воздуха – для января. В почвах закономер-

ность отставания выражена еще сильнее, в течение января и начале февраля в них продолжается аккумуляция холода, так как температуры воздуха еще остаются достаточно низкими и не могут привести к положительной динамике температуры почв. И только, как правило, с начала марта в Центральной Якутии происходит положительная динамика в ходе теплового состояния почв. Постепенное повышение отрицательных температур верхних слоев почв лиственных и березовых лесов в марте–апреле распространяется до глубины 0,8 м, сосняка – до 0,6 м. С этого времени в верхней части деятельного слоя почв отмечается нарастающее повышение температур до момента перехода через 0 °С в начале мая.

В лесах разных типов наблюдаются заметные различия отрицательных температур в верхних слоях ММП. В сосновом лесу средняя температура ММП равна –2,1 °С на глубине 3,2 м и –2,2 °С на глубине 5 м. В лиственном лесу верхние слои ММП холоднее, чем в сосновых лесах. Сред-

негодовая температура за период наблюдений была равна –3,1 °С на глубине 3,2 м и –3,2 °С на глубине 5 м.

Амплитуда годового хода температур в верхнем слое ММП в сосновом лесу на глубине 3,2 м составляла 6,4 °С при колебании температур от –0,4 до –6,8 °С, на глубине 5 м она была равной 4,6 °С при колебании температур от –0,6 до –5,2 °С. Аналогичные показатели в лиственном лесу на глубине 3,2 м составляли –7,4 °С при колебаниях от –0,3 до –7,7 °С и –6 °С на глубине 5 м при колебаниях от –1,0 до –7,0 °С. В березовом лесу температуры верхних слоев ММП на глубине 3,2 м изменялись от –0,5 до –7,2 °С, при многолетней средней температуре, равной –2,9 °С. В верхних слоях ММП (3,2 и 5,0 м) минимальные значения в годовом ходе температур начинают устанавливаться в первой половине апреля и сохраняются до конца первой декады мая. Максимальное повышение отрицательных температур верхнего слоя ММП на глубине 3,2–5,0 м в почвах всех площадок наблюдается с ноября до конца второй декады января (см. рис. 4).

Большую роль в формировании хода зимних температур почв играет снежный покров [Гаврилова, 1978; Павлов, 1979]. По данным П.Я. Константинова [2000], увеличение снежного покрова в 1,5 раза в начале зимнего сезона приводит к 2,5–3-кратному замедлению темпов промерзания почвы. Результаты многолетнего мониторинга динамики мощности снежного покрова и хода температуры почвы под разными лесами свидетельствуют, что утепляющее влияние снежного покрова охватывает весь холодный период. Как видно на рис. 6, на глубине 0,2 м крайне низкие зимние температуры почв наблюдались в малоснежный сезон 2002/03 г., когда почвы соснового леса охлаждались до –21 °С, а почвы лиственных и березовых лесов – до –23,8 °С. Самые высокие температуры зимнего периода на этой же глубине отмечены в многоснежную зиму 2006/07 г. Максимальная высота снега той зимой достигала 59–60 см, что привело к повышению температуры почвы на глубине 0,2 м в сосновом лесу до –6,2 °С, в лиственном лесу до –11,3 °С и в березовом лесу до –10,8 °С. То есть почти трехкратное увеличение мощности снежного покрова привело к более чем трехкратному росту температуры верхних горизонтов почв в сосновых лесах и более чем двухкратному – в лиственных и березовых лесах. Здесь следует отметить, что средняя температура января 2007 г. была выше соответствующей температуре 2003 г. на 9,0 °С.

Отепляющее влияние высоты снежного покрова ярко проявляется при сравнении зим 2002/03 и 2004/05 гг., когда средняя температура воздуха января была почти равной (–39,4 °С в первую и –39,5 °С во вторую зиму). В многоснежную

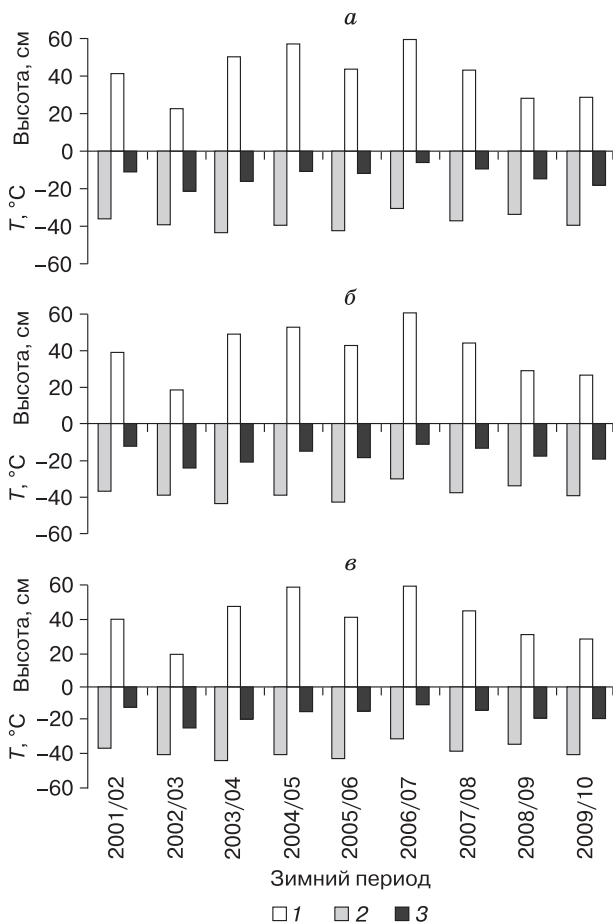


Рис. 6. Влияние высоты снежного покрова на температуру почв в зимнее время:

а – сосновый лес; б – лиственный лес; в – березовый лес; 1 – высота снега, см; 2 – температура воздуха, °С; 3 – температура почвы (°С) на глубине 0,2 м.

зиму 2004/05 г. минимальные температуры почвы на глубине 0,2 м достигли в сосновом лесу $-10,9^{\circ}\text{C}$, в лиственничном лесу $-14,5^{\circ}\text{C}$ и в березовом лесу $-14,8^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 6). Эти показатели в малоснежную зиму 2002/03 г. равнялись $-21,0$, $-23,8$ и $-23,8^{\circ}\text{C}$ соответственно. Повышение минимальных температур почв в результате большей мощности снежного покрова сопровождалось смещением периода наибольшего охлаждения почв на более поздний срок. Так, если в малоснежный год минимальные температуры почвы в верхних слоях почв отмечены в конце января, то в многоснежном году они относятся к последней декаде февраля.

ВЫВОДЫ

1. В период наблюдений температура воздуха и количество осадков существенно менялись. Среднегодовая температура воздуха равнялась $-8,1^{\circ}\text{C}$, что выше многолетней нормы на $2,1^{\circ}\text{C}$. Средняя за годы наблюдений температура воздуха летнего периода была равна $13,2^{\circ}\text{C}$, что также на $0,9^{\circ}\text{C}$ выше нормы.

2. Все изученные почвы относятся к типу мерзлотно-таежных палевых и имеют отрицательную среднегодовую температуру. Исследованы три основных компонента их температурного режима: а) среднегодовая температура деятельного слоя; б) максимальная глубина оттаивания; в) глубина распространения активных температур ($+10^{\circ}\text{C}$ и выше). Установлено, что все три компонента температурного режима почв заметно различаются в лесах разных типов. В почвах соснового леса среднегодовая температура деятельного слоя равна $-0,8^{\circ}\text{C}$, максимальная мощность протаивания достигает 2,7 м, активные температуры ($+10^{\circ}\text{C}$ и выше) в летний период проникают до глубины 0,6 м и более. Для почв березового леса эти показатели составляют $-2,5^{\circ}\text{C}$, 1,9 м, 0,4 м соответственно, а для почв лиственничного леса равны $-2,9^{\circ}\text{C}$, 1,5 м, 0,2 м соответственно. Итак, в направлении от теплых к холодным изученные почвы можно выстроить следующим образом: почвы сосновых лесов—почвы березовых лесов—почвы лиственничных лесов. При этом почвы лиственничных и, как правило, замещающих их вторичных березовых лесов ближе друг к другу, их можно отнести к мерзлотному холодному подтипу температурного режима. Почвы сосновых лесов заметно теплее и относятся к мерзлотному умеренному подтипу.

3. Существенны температурные различия верхних горизонтов ММП в лесах разных типов. Средняя температура почвогрунтов в слое 0–3,2 м в сосновом лесу за период наблюдений равнялась $-0,95^{\circ}\text{C}$, в березовом лесу $-2,6^{\circ}\text{C}$ и в лиственничном лесу $-3,0^{\circ}\text{C}$. Средняя температура почвогрун-

тов в слое 0–5 м в сосняках составляла $-1,1^{\circ}\text{C}$, в лиственничниках $-3,1^{\circ}\text{C}$.

4. Шесть из девяти лет наблюдений оказались многоснежными. Высота снега за зиму в такие годы составляла 118–176 % многолетней нормы, что оказывало существенное влияние на формирование температурного режима почв и верхних слоев ММП. Нарастание мощности снежного покрова имеет прямо пропорциональную связь с повышением температур приповерхностного слоя почв. Большая мощность снежного покрова приводит также к смещению периода охлаждения почв на более поздние сроки.

5. Полученные результаты показывают большую разнородность и высокую динамичность тепловых параметров лесных почв Центральной Якутии. Они раскрывают резкие колебания обеспеченности теплом деятельного слоя лесных почв как в пространстве, так и во времени и свидетельствуют об актуальности изучения динамики баланса энергии в бореальных лесах в условиях изменения климата.

Литература

- Варламов С.П.** Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии / С.П. Варламов, Ю.Б. Скачков, П.Н. Скрыбин. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2002, 216 с.
- Гаврилова М.К.** Климат и многолетнее промерзание горных пород. Новосибирск, Наука, 1978, 212 с.
- Климат Якутска** / Отв. ред. Ц.А. Швер. Л., Гидрометеиздат, 1982, 246 с.
- Константинов П.Я.** О влиянии климатических особенностей начала зимнего сезона на динамику промерзания почвогрунтов таежных ландшафтов (Центральная Якутия) // Климат и мерзлота: комплексные исследования. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2000, с. 110–113.
- Мажитова Г.Г., Каверин Д.А.** Динамика глубины сезонного протаивания и осадки поверхности почвы на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя (CALM) в европейской части России // Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 4, с. 20–30.
- Малкова Г.В.** Мониторинг среднегодовой температуры пород на стационаре Болванском // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 3, с. 3–14.
- Павлов А.В.** Теплофизика ландшафтов. Новосибирск, Наука, 1979, 285 с.
- Павлов А.В.** Мерзлотно-климатические изменения на севере России: наблюдения, прогноз // Изв. РАН. Сер. геогр., 2003, № 6, с. 39–50.
- Павлов А.В., Ананьева Г.В., Дроздов Д.С. и др.** Мониторинг сезонноталого слоя и температуры мерзлого грунта на севере России // Криосфера Земли, 2002, т. VI, № 4, с. 30–39.
- Павлов А.В., Вотякова Н.И., Шипицына Л.И.** Анализ многолетних изменений параметров теплового режима сезоннопротаивающих грунтов // Мерзлые грунты при инженерных воздействиях. Новосибирск, Наука, 1984, с. 46–51.

Павлов А.В., Москаленко Н.Г. Термический режим почвы на севере Западной Сибири // Криосфера Земли, 2001, т. V, № 2, с. 11–19.

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

Саввинов Д.Д., Слепцов В.И. Свойства и режимы мерзлотных палевых почв. Якутск, Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1987, 128 с.

Сергеев Д.О., Ухова Ю.А., Станюковская Ю.В., Романовский В.Е. Температурный режим многолетнемерзлых толщ и сезонноталого слоя в горах Северного Забайкалья (возобновление стационарных наблюдений) // Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 2, с. 19–26.

Скачков Ю.Б. Термическая устойчивость верхних горизонтов криолитозоны Центральной Якутии при современном

потеплении климата: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Якутск, 2001, 25 с.

Скрябин П.Н., Варламов С.П., Скачков Ю.Б. Межгодовая изменчивость теплового режима грунтов района Якутска. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 1998, 144 с.

Чудинова С.М., Быховец С.С., Сороковиков М.Р. и др. Особенности изменения температуры почв России в период последнего потепления климата // Криосфера Земли, 2003, т. VII, № 3, с. 23–30.

Федоров А.Н., Константинов П.Я. Реакция мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии на современные изменения климата и антропогенные воздействия // География и природ. ресурсы, 2009, № 2, с. 56–62.

*Поступила в редакцию
1 марта 2011 г.*