

А.В. АЛФИМОВИнститут биологических проблем Севера ДВО РАН,
685000, Магадан, ул. Портовая, 18, Россия, arcalfimov@gmail.com**ГОДОВОЙ ЦИКЛ ТЕМПЕРАТУР В СЕЗОННО-ТАЛЫХ И СЕЗОННО-МЕРЗЛЫХ ПОЧВАХ
СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ**

В верховьях Колымы и на Охотском побережье в 211 биотопах выявлены экологически важные характеристики температурного режима сезонно-мерзлых и сезонно-талых почв в теплый и холодный сезоны. Максимальные для верховий Колымы суммы положительных температур почв (на глубине 20 см — 2000–2150 °С/сут) могут накапливаться в наиболее теплых почвах обоих типов, тогда как в самых холодных сезонно-мерзлых почвах на той же глубине этот показатель (400–450 °С/сут) в 40–45 раз выше, чем в самых холодных сезонно-талых. На Охотском побережье формирование и сезонно-талых, и сезонно-мерзлых почв возможно при любых из отмеченных в регионе значениях зимних и летних температур. Определены пределы колебаний минимальных температур почв в гидрогенных таликах обоих регионов: в самых теплых на глубине 20 см они составляют $-1 \div -4$ °С, что на 4–6 °С выше, чем в самых теплых мерзлотных биотопах, в самых холодных (за исключением тополево-чозениевых сообществ пойм) $-13 \div -14$ °С. Годовые минимумы в диапазоне от $-6 \div -8$ до $-23 \div -25$ °С могут отмечаться как в таликовых, так и в мерзлотных биотопах, а более низкие — только в сезонно-талых почвах. Таким образом, в большинстве случаев годовые минимумы температур почв не зависят от наличия или отсутствия многолетнемерзлых горизонтов, и лишь в малой части гидрогенных таликов они существенно выше, чем в наиболее теплых мерзлотных биотопах.

Ключевые слова: северо-восток Азии, мерзлота, талики, суммы положительных температур, годовой минимум температур почв.

A.V. ALFIMOVInstitute of Biological Problems of the North, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
685000, Magadan, ul. Portovaya, 18, Russia, arcalfimov@gmail.com**ANNUAL TEMPERATURE CYCLE IN SEASONALLY THAWED AND SEASONALLY FROZEN SOILS
OF NORTH-EAST ASIA**

In the upper reaches of the Kolyma river and on the coast of the Sea of Okhotsk, 211 biotopes showed ecologically important temperature characteristics of seasonally thawed and seasonally frozen soils during warm and cold seasons. The highest (for the upper reaches of the Kolyma) cumulative positive temperatures (2000–2150 °C/day at a depth of 20 cm) can accumulate in the warmest soils of both types, whereas in the coldest seasonally frozen soils at the same depth this parameter (400–450 °C/day) is higher by a factor of 40–45 than in the coldest seasonally thawed soils. On the coast of the Sea of Okhotsk, formation of seasonally thawed and seasonally frozen soils is possible at any of the values of winter and summer temperatures. The limits of fluctuations of the minimum soils temperatures in hydrogenic taliks of both regions are determined: in the warmest soils at a depth of 20 cm they vary from -1 to -4 °C, or 4–6 °C higher than in the warmest permafrost biotopes; and in the coldest taliks (except in poplar-chosenia communities of floodplains) they are vary from -13 to -14 °C. Annual minima in the range between -6 to -8 °C and -23 to -24 °C can occur both in taliks and in permafrost biotopes, lower values in seasonally thawed soils only. Thus the annual minima of soil temperatures of most biotopes do not depend on the presence or absence of permafrost horizons, and only in a small part of hydrogenic taliks they are significantly higher than in the warmest permafrost biotopes.

Keywords: North-East of Asia, permafrost, taliks, cumulative positive temperatures, annual minimum of soil temperatures.

ВВЕДЕНИЕ

Мерзлота традиционно считается одним из факторов, формирующих условия существования биоты северо-востока Азии [1]. Однако даже в верховьях Колымы, в зоне непрерывного распространения многолетнемерзлых пород, их температура варьирует от -3 до -7 °С, а на 10–15 % территории мерзлота отсутствует [2, 3]. На Охотском побережье, где распространение многолетнемерзлых грунтов

носит островной характер, сокращается как диапазон их температур ($-1 \div -2$ °С), так и доля занимаемой площади (50–60 %). Роль температурного режима верхнего слоя сезонно-талых почв в формировании экосистем континентальных районов северо-востока Азии в теплый и холодный сезоны исследована достаточно подробно [4, 5], тогда как условия в почвах таликовых биотопов описаны лишь для центральной Якутии [6, 7]. Между тем влияние этих образований на формирование биоты весьма существенно, поскольку они часто служат местами зимовки животных, чье распространение ограничено холодоустойчивостью [4, 8]. Представленная работа посвящена сравнительному анализу экологически важных показателей годового цикла температур в верхних слоях сезонно-мерзлых и сезонно-талых почв верховий Колымы и Охотского побережья с целью оценки роли мерзлоты в формировании условий существования биоты этого региона.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования в верховьях Колымы проводились с 1979 по 2008 г. (с перерывами), на Охотском побережье — с 1994 по 2002 г. В годы наблюдений отличие сезонных сумм положительных и отрицательных температур воздуха от нормы не превышало одного стандартного отклонения [9], что позволило объединить результаты, полученные в разные годы, в единый массив. На высотных профилях от днищ долин до верхней части гор (400–1800 м над ур. моря в верховьях Колымы и от 2–3 до 850 м над ур. моря на побережье) было обследовано 136 и 75 биотопов соответственно. Площадки располагались на склонах разных ориентаций и на террасах, различались характером растительности, влажностью почвы, высотой снега, глубиной сезонно-талого слоя (СТС) и другими характеристиками; их описания приведены ранее [4, 10]. Площадки выбирались с целью более полного описания всего разнообразия летних и зимних температурных условий почв в типичных для региона биотопах, с акцентом на выявление их экстремальных показателей. Большое число обследованных выделов и характер полученных данных позволяют считать представленное описание температурного поля почв указанных регионов достаточно полным.

В верховьях Колымы и на Охотском побережье выражены два вертикальных пояса — редколесий и горных тундр [11], граница между которыми проходит на высотах 1000–1200 и 600–700 м над ур. моря соответственно. В нижнем поясе обоих регионов на террасах, плато и склонах господствуют редколесья из лиственницы и заросли кедрового стланика. По тальвегам склонов обычна ольха. В верховьях Колымы на днищах долин небольших перемерзающих зимой рек и ручьев преобладают мохово-кустарничковые сообщества на переувлажненных из-за близости высокольдистой мерзлоты органогенных почвах. Лишь малая часть склонов южной экспозиции занята ксероморфными лугами, осинниками и березняками, которые, как правило, представляют собой различные этапы послепожарных сукцессий. Глубина СТС в таких биотопах превышает 1,2–1,5 м. На фоне мерзлотных ландшафтов в поймах крупных рек выделяются таликовые зоны с тополево-чозениевыми сообществами. На Охотском побережье, благодаря менее жесткой мерзлотной обстановке и большему количеству летних осадков, шире представлены березняки, ольховники и тополево-чозениевые сообщества. В верховьях Колымы в условиях континентального, с очень холодной зимой и сухим летом, климата лучше выражены ксероморфные группировки.

На побережье температуры в верхнем слое почв глубиной 20 см круглогодично измерялись электронными логгерами, восемь раз в сутки. В верховьях Колымы зимой измерения производились один раз в 5–7 дней с помощью электрических термометров, летом измерения электрическими и метеорологическими термометрами осуществлялись ежедневно в 15–18 ч. Кроме того, во всех биотопах более двух лет подряд минимальными и максимальными термометрами определялись годовые экстремумы температур почвы. При обработке результатов срочных наблюдений использовались материалы круглосуточных измерений температур почвы с помощью самописцев КСМ-4 и iBDL-LS, регистраторов DS1922L и разных моделей логгеров фирмы ONSET, работавших как минимум в течение года в 40 биотопах. Точность самописцев в рабочем диапазоне температур составляла $\pm(0,1-0,2)$ °С. По их данным были выявлены зависимости между «срочными» и средними суточными температурами, а также между сезонными экстремумами и суммами температур за сезон. Для разных площадок и горизонтов коэффициент детерминации между этими переменными (R^2) варьировал от 0,82–0,83 до 0,93–0,95. Достаточно тесная связь указанных характеристик позволила рассчитать сезонные суммы температур для биотопов, где самописцы отсутствовали, и рассматривать данные, полученные непосредственными измерениями и вычисленные по уравнениям регрессии, как единый массив.

При измерении температур поверхности почвы датчик логгера или резервуар термометра погружали в субстрат так, чтобы он не нагревался прямыми лучами солнца. С учетом размеров приборов температуры, полученные таким путем, отнесены к слою 0–2 см.

Глубина СТС определялась металлическим щупом длиной 120 см. Если длины щупа не хватало или измерениям препятствовало обилие камней, то глубину СТС оценивали экстраполяцией измерений мощности талого слоя в течение теплого сезона [12]. В отдельных случаях осенью откапывался шурф до зеркала мерзлоты.

Таликами принято называть участки мерзлотных территорий, на которых грунты ниже слоя годовых колебаний температур круглый год остаются немерзлыми [13, 14]. Так как глубина этого слоя в верховьях Колымы может превышать 7–9 м, следовать такому определению при обследовании большого числа биотопов не представлялось возможным. Критерием выделения таликов служила средняя годовая температура почвы на глубине 20 см [15]. Кроме того, таликами мы считали острова и террасы с тополево-чозениевыми сообществами на галечно-песчаных грунтах в поймах непромерзающих рек [16] независимо от средней годовой температуры их почв на глубине 20 см. Доля биотопов, которые мы, в соответствии с этими критериями, считали таликами (15–18 % в верховьях Колымы и 46–49 % на побережье), близка к соотношениям, полученным в результате мерзлотоведческих исследований [2]. Все климатические данные приведены по [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Теплообеспеченность верхнего слоя почв глубиной 20 см зависит от многих факторов (температура воздуха, высота над уровнем моря, экспозиция, условия дренажа, характер растительности, тип грунтов и др.), под действием которых в обследованных биотопах сформировался широкий диапазон условий (рис. 1). При том что суммы положительных среднесуточных температур воздуха (теплообеспеченность) в поясе редколесий верховий Колымы и на Охотском побережье практически одинаковы,

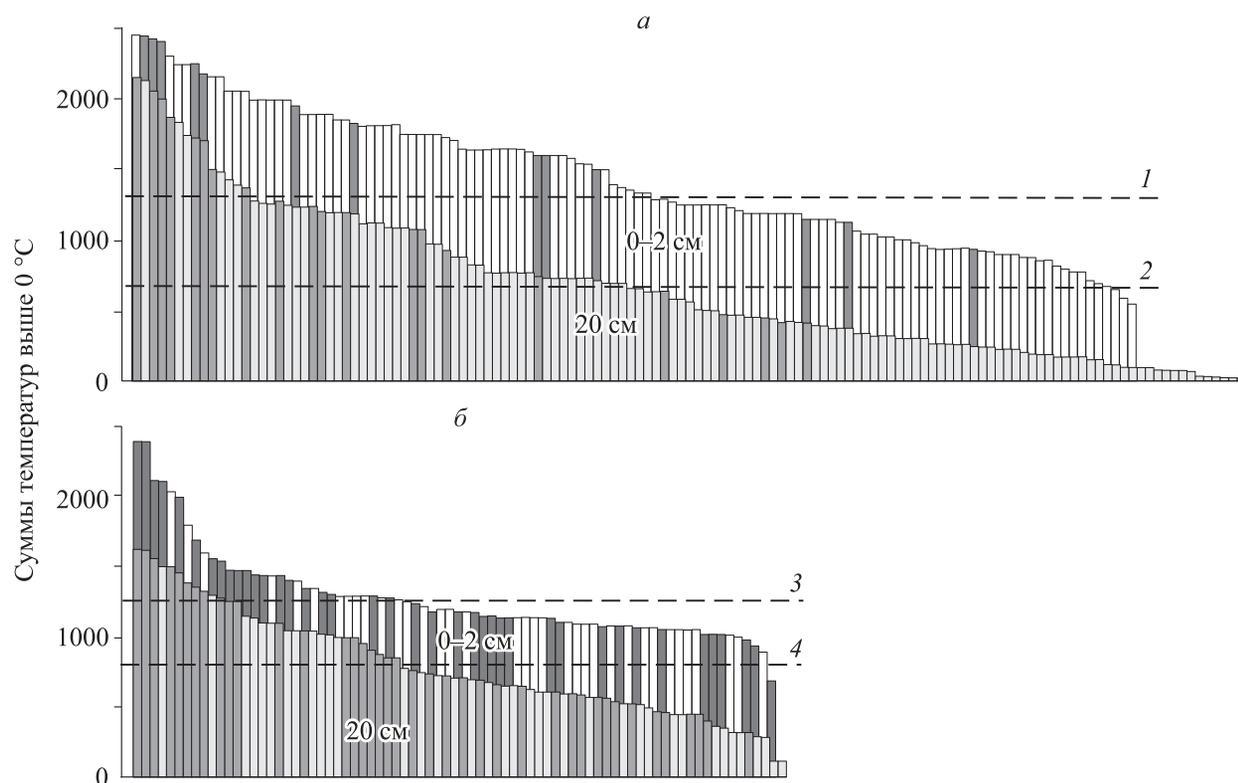


Рис. 1. Варьирование сумм положительных температур почв на глубине 0–2 и 20 см.

a — верховья Колымы, *b* — Охотское побережье. Светлые столбики — мерзлотные биотопы, темные — талики. Штриховой линией показаны средние многолетние суммы температур воздуха на высотах, м над ур. моря: 1 — 500, 2 — 1500, 3 — 100, 4 — 800.

Диапазоны варьирования температурных характеристик обследованных биотопов

Характеристика	Почвы	Верховья Колымы		Охотское побережье	
		0–2 см	20 см	0–2 см	20 см
Суммы положительных температур, °С/сут	Сезонно-талые	550–2450	50–2150	900–2040	125–1500
	Сезонно-мерзлые	950–2450	450–2150	700–2040	325–1620
Годовые минимумы температур, °С	Сезонно-талые	–10÷–49	–7,5÷–39	–9,5÷–32,5	–7,5÷–29
	Сезонно-мерзлые	–12,5÷–31	–4,5÷–24	–4÷–31,5	–1÷–25

температурные поля почв этих регионов в теплый сезон существенно различаются. Так, разность сумм температур между самыми холодными и самых теплыми почвами в верховьях Колымы больше, чем на Охотском побережье, в слое 0–2 см на 10 %, а на глубине 20 см — в 1,4 раза. В верховьях Колымы указанная разность с глубиной растет с 1900 до 2100 °С/сут, а на побережье, напротив, убывает — с 1700 до 1500 °С/сут. Различается и отношение средних для всех обследованных биотопов сумм температур почв и воздуха. В верховьях Колымы в слое 0–2 см оно такое же, как на Охотском побережье (1–1,1), а на глубине 20 см ниже (0,5 и 0,7 соответственно).

Важные различия полей теплообеспеченности почв в верховьях Колымы и на Охотском побережье заключаются в том, что сезонно-талые и сезонно-мерзлые почвы занимают в них разное место (см. рис. 1, таблицу). В верховьях Колымы почвы с максимальной теплообеспеченностью, характерные для сухих безлесных южных склонов, могут быть как сезонно-талыми, так и сезонно-мерзлыми. Положительные средние годовые температуры в почве таких биотопов формируются в том случае, если высота снежного покрова, препятствующего выхолаживанию, превышает 40–45 см. Яркий пример биотопов с сезонно-талыми почвами, которые хорошо прогреваются в теплый сезон, — осочково-лишайниковые тундростепи, расположенные на сухих бровках террас и на вершинах сопков, в тех местах, где, благодаря местным особенностям циркуляции, скорость ветра достигает максимальных для региона значений [18]. В почве этих сообществ суммы положительных температур на глубине 20 см, хотя варьируют достаточно широко (1100–1850 °С), максимальные для региона. Однако, поскольку глубина снежного покрова на осочково-лишайниковых тундростепях не превышает 7–10 см, а большую часть холодного сезона они полностью бесснежны, суммы отрицательных температур их почв также близки к экстремальным для региона (–3500÷–4200 °С/сут). В результате средние годовые температуры почв осочково-лишайниковых сообществ на глубине 20 см опускаются до –3÷–5 °С, а глубина СТС не превышает 150–200 см.

В отличие от наиболее теплых почв, в наиболее холодных сезонно-мерзлых и сезонно-талых почвах верховий Колымы существенно различаются не только средние годовые температуры, но и суммы положительных температур. При глубине СТС не более 50–60 см коэффициент детерминации сумм положительных температур почв на глубине 20 см и глубины СТС достигает 0,72 (рис. 2). В результате на крутых северных склонах в переувлажненных почвах лиственничных редиц с лишайни-

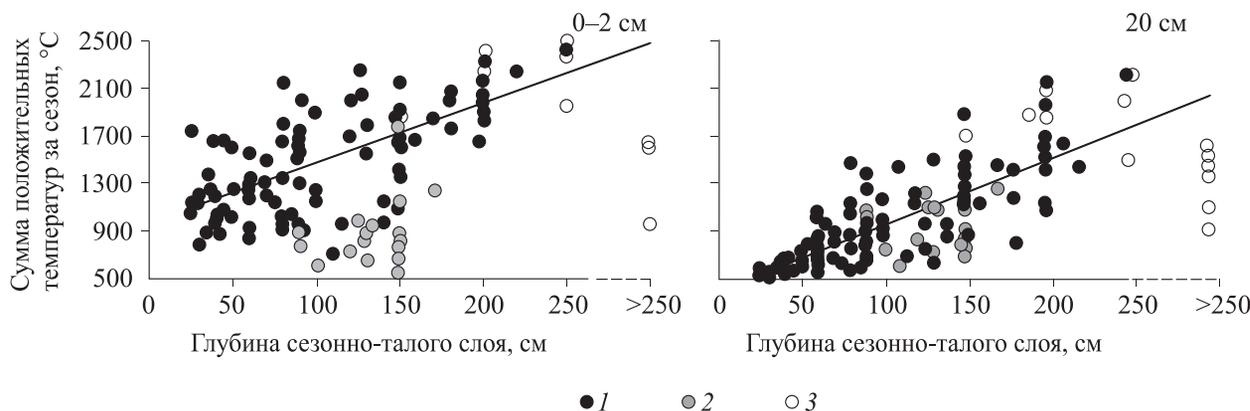


Рис. 2. Связь сумм положительных температур в верхнем слое почв глубиной 20 см и глубины СТС в верховьях Колымы.

1 — сезонно-талые почвы пояса редколесий, 2 — горных тундр, 3 — сезонно-мерзлые почвы. Прямая — линия связи сумм температур и глубины СТС для биотопов редколесий и горных тундр.

ково-моховыми покровами и минимальной для региона мощностью СТС (35–40 см) теплообеспеченность на глубине 20 см составляет 25–50 °С/сут, что в 9–10 раз ниже, чем в самых холодных сезонно-мерзлых почвах. Такие почвы формируются в биотопах, где, несмотря на низкую теплообеспеченность (450–500 °С/сут), средние годовые температуры положительны благодаря обогревающему влиянию подземных вод в холодный сезон (см. ниже). В верховьях Колымы это ивняки и ольховники в поймах непромерзающих рек и ручьев, а также многоснежные лиственничники и кедрово-стланиковые сообщества в верхней части пояса редколесий на моренных отложениях, в которых, благодаря наличию крупных полостей, круглогодично циркулируют подземные воды.

Еще в одном типе гидрогенных таликов — на галечно-песчаных островах и низких террасах с тополево-чозениевыми сообществами в поймах крупных рек — температурный режим почв аналогичен таковому в радиационно-инфильтрационных таликах. Весной, благодаря высокой фильтрующей способности аллювия, сезонно-мерзлый слой почв островов и террас промывается половодьем и быстро протаивает. После спада воды галечно-песчаный грунт хорошо прогревается, суммы температур сопоставимы с таковыми в почве осочково-лишайниковых тундростепей. В зимнюю межень расстояние между поверхностью террас и уровнем незамерзшей воды может достигать 1,5–2 м, а средние годовые значения температуры почв на глубине 20 см становятся отрицательными.

На Охотском побережье суммы температур воздуха и почв в холодный сезон вдвое меньше, чем в верховьях Колымы. Для воздуха они составляют –2500÷–2700 и –5600÷–5700 °С, а средние для почв обследованных биотопов — –1200÷–1250 и –2100÷–2200 °С соответственно. Поэтому на Охотском побережье сезонно-мерзлые почвы могут формироваться во всем диапазоне условий теплообеспеченности. Так, среднегодовые температуры почв сухих безлесных южных склонов на побережье положительны даже при отсутствии снега. Кроме того, сезонно-мерзлые почвы на Охотском побережье могут формироваться в биотопах, не обогреваемых подземными водами, при существенно более низкой, чем в верховьях Колымы, теплообеспеченности. Так, мерзлота отсутствует на луговых шлейфах южных склонов, в березняках со снежным покровом средней высоты. Глубокий же снежный покров обеспечивает положительные средние годовые температуры даже в холодных летом почвах, где сумма положительных температур составляет 350–400 °С/сут. Это кедрово-стланиковые сообщества, сомкнутые ивняки и ольховники, расположенные на разных элементах рельефа на всем вертикальном профиле.

Температура сезонно-мерзлых и сезонно-талых почв в холодный сезон определяет возможность зимовки широкого круга организмов, многие из которых служат основой функционирования экосистем [4]. Поэтому в качестве основной характеристики зимних температур почв в работе рассматриваются годовые минимумы (рис. 3). Этот показатель в верхних слоях почвы зависит в первую очередь от минимальных температур воздуха и высоты снежного покрова [19], к которым в гидрогенных таликах добавляется обогревающее влияние подземных вод. В верховьях Колымы и на Охотском побережье действие первых двух факторов существенно различается.

В поясе редколесий верховий Колымы годовые минимумы температуры воздуха ниже, чем на Охотском побережье, на 20 °С (–50÷–52 и –30÷–33 °С соответственно). В горных тундрах различия между этими регионами уменьшаются вдвое (экстремумы составляют –38÷–40 и –30÷–32 °С соответственно), так как на побережье, где циклоны активны круглый год, зимние температурные инверсии выражены слабее, чем в верховьях Колымы [10]. Известно, что при повышении температур воздуха изменяется структура снежного покрова и растет его теплопроводность [19]. Кроме того, на побережье скорость ветра зимой в 1,5–2 раза выше, чем в континентальных районах, и чаще встречаются участки, с которых снег регулярно сдувается. Указанные обстоятельства формируют общие различия полей минимальных температур почв обследованных регионов. Так, диапазон варьирования минимумов в верховьях Колымы в 1,4–1,6 раза шире, чем на Охотском побережье, а средние для обследованных биотопов значения минимумов на глубинах 0–2 и 20 см выше, чем в воздухе, в 2 и 2,8 раза, тогда как на Охотском побережье — в 1,8 и 2,4 раза соответственно.

Распределение сезонно-талых и сезонно-мерзлых почв в рядах годовых минимумов температур обследованных регионов также различается. В верховьях Колымы в самых теплых таликах, почвы которых «обогреваются» озерными, речными, а также подземными водами, при глубине снега более 40 см годовые минимумы на глубине 20 см могут быть на 43–45 °С выше, чем в воздухе (–3÷–5 °С). В самых холодных гидрогенных таликах (за исключением тополево-чозениевых пойм) на этой глубине температуры не опускаются ниже –13÷–14 °С, что совпадает с оценкой, выполненной по материалам многолетних наблюдений температур почв на метеостанция Якутии [20]. Самые низкие для сезонно-мерзлых почв температуры (до –23÷–24 °С на глубине 20 см, что на 5–6 °С ниже средних для региона значений) отмечены в почвах ксероморфных группировок южных склонов с высотой снега более 45 см.

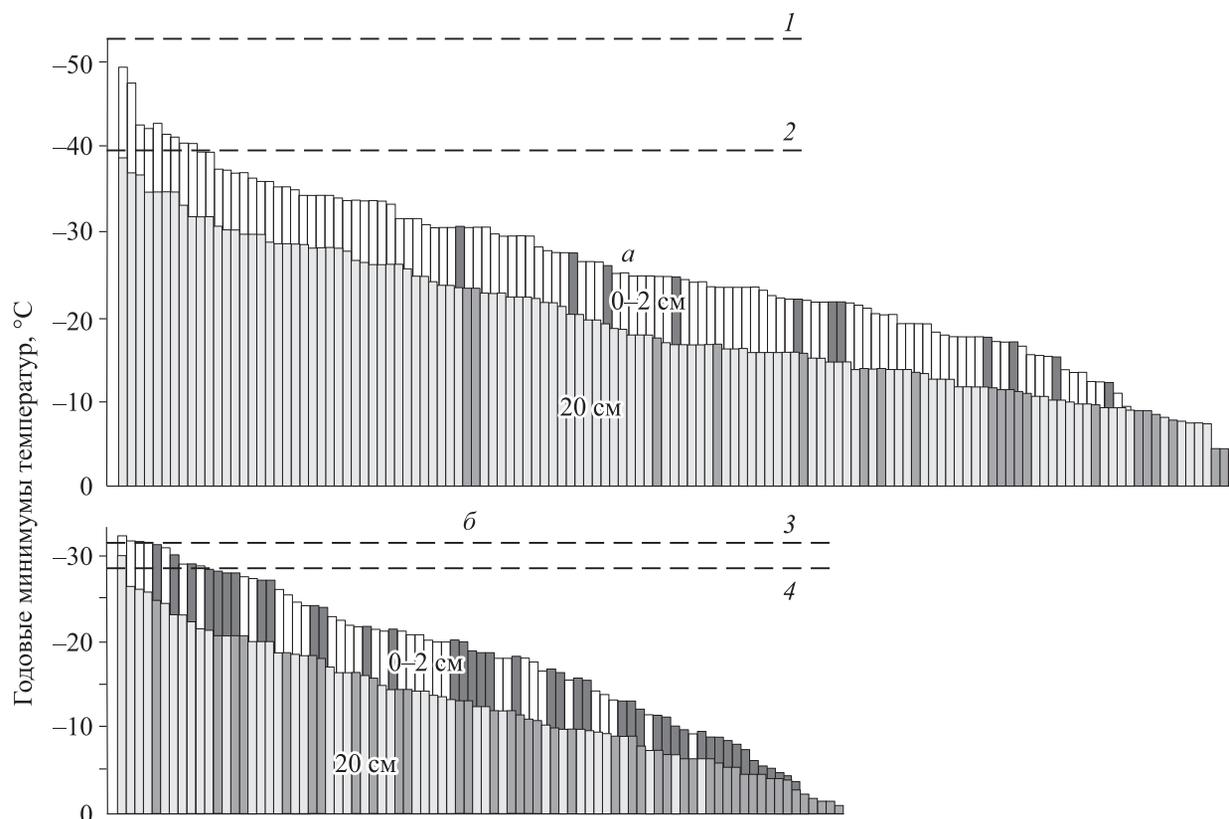


Рис. 3. Варьирование минимальных температур почв.

Штриховой линией показаны средние из абсолютных минимумов температур воздуха на высотах, м над ур. моря: 1 — 500, 2 — 1500, 3 — 100, 4 — 800. Остальные обозначения — см. рис. 1.

В верховьях Колымы мерзлотные биотопы с самыми высокими годовыми минимумами температур почв расположены в верхней части пояса редколесий, где минимальные температуры воздуха на 12–15 °С выше, чем на дне долин, а высота снежных надувов в лиственничниках, ольховниках, куртинах кедрового стланика и березняках может превышать 0,6–0,7 м. В таких биотопах в сырых торфянистых почвах с сомкнутым напочвенным покровом температуры на глубине 0–2 и 20 см не падают ниже $-10 \div -14$ и $-7,5 \div -10$ °С соответственно.

На Охотском побережье диапазон минимальных температур в сезонно-мерзлых почвах всего на 5–10 % уже регионального диапазона этой характеристики. Максимальная разница между экстремумами температур воздуха и почвы уменьшается до 28–30 °С. В самых теплых сезонно-мерзлых почвах, «обогреваемых» подземными водами, минимальные температуры на глубине 20 см составляют $-1 \div -2$ и $-4 \div -7$ °С в слое 0–2 см. В самых холодных таликовых поймах рек Охотского побережья при значительном падении уровня воды в зимнюю межень на глубине 20 см температуры галечно-песчаных почв могут падать до $-23 \div -25$ °С. Более низкие значения экстремумов ($-26 \div -29$ °С) зафиксированы лишь в сухих щебнистых сезонно-талых почвах бесснежных участков горных тундр с разреженным напочвенным покровом, среднегодовые температуры которых составляют $-5 \div -6$ °С.

Наиболее теплые мерзлотные биотопы Охотского побережья — это сырые луговины на пологих склонах, кедрово-стланиковые сообщества и лиственничники с сырыми почвами и сомкнутым мохово-лишайниковым напочвенным покровом, в почве которых на глубинах 0–2 и 20 см минимальные температуры составляют $-10 \div -14$ и $-7 \div -9$ °С соответственно.

Таким образом, годовые минимумы температур почв в наиболее теплых мерзлотных биотопах в верховьях Колымы и на Охотском побережье различаются незначительно, варьируя на глубине 20 см в пределах $-7 \div -8$ °С, а в слое 0–2 см — $-9 \div -10$ °С. В наиболее теплых сезонно-мерзлых почвах этих регионов сравниваемые показатели различаются сильнее: на глубине 20 см они составляют -4 и -1 °С, а в слое 0–2 см — -12 и -4 °С соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В верховьях Колымы наиболее высокие суммы положительных температур и в сезонно-мерзлых, и в сезонно-талых почвах практически одинаковы: на глубине 20 см они составляют 1,5–1,6 от сумм температур воздуха, тогда как наиболее низкие существенно различаются: на той же глубине они ниже, чем в воздухе, в 3 и 130 раз соответственно. На Охотском побережье формирование и сезонно-талых, и сезонно-мерзлых почв возможно при любых из отмеченных в регионе значениях теплообеспеченности почв.

Влияние мерзлоты на теплообеспеченность верхних 20 см почв доминирует лишь на нижней границе этого слоя при глубине СТС менее 50–60 см. Ближе к поверхности почвы, а также в биотопах с большей глубиной СТС и в таликах теплообеспеченность почв в основном зависит от высоты над уровнем моря, экспозиции, влажности почвы, характера растительности и других ландшафтных факторов.

В самых теплых гидрогенных таликах верховий Колымы и Охотского побережья минимумы температур на глубине 20 см ($-1 \div -4$ °С) на $4-6$ °С выше, чем в самых теплых мерзлотных биотопах. Годовые минимумы от $-6 \div -8$ до $-23 \div -24$ °С (65–70 % от всего диапазона этой величины) могут отмечаться и в сезонно-талых, и в сезонно-мерзлых почвах. Более низкие значения — только в сезонно-талых. Тем самым лишь в небольшой части таликовых биотопов, обогреваемых незамерзающими водами, складываются условия зимовки более благоприятные, чем в самых теплых мерзлотных почвах. В радиационных таликах и в мерзлотных биотопах годовые минимумы температур почв зависят не от наличия или отсутствия многолетнемерзлых горизонтов, а от температур воздуха и высоты снега.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Север Дальнего Востока / Ред. Н.А. Шило. — М.: Наука, 1970. — 498 с.
2. Геокриология СССР. Европейская территория СССР / Под ред. Э.Д. Ершова. — М.: Недра, 1988. — 358 с.
3. Некрасов И.А., Микова А.И. Морфология и температурный режим криолитозоны бассейна верховьев р. Колымы и побережья Охотского моря // Региональные и тематические геокриологические исследования. — Новосибирск: Наука, 1975. — С. 3–21.
4. Берман Д.И., Алфимов А.В., Жигульская З.А., Лейрих А.Н. Зимовка и холодоустойчивость муравьев на северо-востоке Азии. — М.: Товарищество научных изданий «КМК», 2007. — 266 с.
5. Берман Д.И., Алфимов А.В., Мажитова Г.Г. Гидротермические условия существования основных компонентов экосистем Северо-Востока СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1990. — № 6. — С. 15–28.
6. Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н. О формировании теплового режима надмерзлотного талика // Мерзлотно-гидрогеологические исследования зон свободного водообмена. — М.: Наука, 1989. — С. 38–47.
7. Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н. Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии. — Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2002. — 216 с.
8. Оленченко В.В. Муравейники как возможные биоиндикаторы таликовых зон // Криосфера Земли. — 2014. — Т. 18, № 2. — С. 91–96.
9. Справочник по климату СССР. Устойчивость и точность климатических характеристик. — Л.: Гидрометеоздат, 1976. — Т. 1. — 388 с.
10. Алфимов А.В. Дифференциация температур и вертикальная поясность побережья // Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря. — Владивосток: Дальнаука, 2006. — С. 138–156.
11. Огуреева Г.Н. Структура высотной поясности растительности гор северо-востока Сибири // География и природ. ресурсы. — 1998. — № 2. — С. 5–11.
12. Васильев И.С. Обзор методов определения мощности сезоннопротаивающего слоя // Региональные и криолитологические исследования в Сибири. — Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1979. — С. 27–35.
13. Геологический словарь / Под ред. К.Н. Паффенгольца. — М.: Недра, 1978. — Т. 2. — 412 с.
14. Некрасов И.А. Криолитозона северо-востока и юга Сибири и закономерности ее развития. — Якутск: Кн. изд-во, 1976. — 248 с.
15. Гаврилова М.К. Современный климат и вечная мерзлота на континентах. — Новосибирск: Наука, 1984. — 111 с.
16. Михайлов В.М. Разнообразие таликов речных долин и их систематизация // Криосфера Земли. — 2010. — Т. 17, № 3. — С. 43–51.
17. Справочник по климату СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1966. — Вып. 33, ч. 2. — 288 с.; 1968. — Вып. 33, ч. 4. — 258 с.

18. **Берман Д.И., Алфимов А.В., Мажитова Г.Г., Гришкан И.Б., Юрцев Б.А.** Холодные степи Северо-Восточной Азии. — Магадан: Изд-во Ин-та биолог. проблем Севера ДВО РАН, 2001. — 182 с.
19. **Павлов А.В.** Теплофизика ландшафтов. — Новосибирск: Наука, 1979. — 286 с.
20. **Алфимов А.В., Берман Д.И., Булахова Н.А.** Зимние температурные условия в корнеобитаемом слое почв в Сибири и на северо-востоке Азии // Вестн. Северо-Восточ. науч. центра ДВО РАН. —2012. — № 3. — С. 10–18.

Поступила в редакцию 16.02.2017

После доработки 16.06.2017

Принята к публикации 27.12.2018