

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МЁРЗЛЫХ ПОЧВ В РАЙОНЕ БАЙКАЛО-АМУРСКОЙ МАГИСТРАЛИ (БАМ)

© 2025 г. А. С. Балыбина*, О. П. Осипова, И. Е. Трофимова

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

*e-mail: balybina@irigs.irk.ru

Поступила в редакцию 09.04.2025 г.

После доработки 16.06.2025 г.

Принята к публикации 25.09.2025 г.

Обсуждаются результаты исследования климатических режимов в системе “приземная атмосфера – почвогрунты” до глубины 3.2 м на западном участке зоны Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ). Рассматриваются показатели наибольшей информативности – минимальная и максимальная средняя месячная температура почвогрунтов, средняя годовая температура воздуха и почвы, сезонное промерзание и протаивание. Отмечены отчетливые региональные различия показателей климатических режимов. Выделяются две группы метеостанций. Для первой группы (Лено-Ангарское плато и Предбайкальская впадина) характерны умеренное зимнее охлаждение и умеренное летнее прогревание почвогрунтов, их положительная средняя годовая температура. Тип мерзлотно-термического режима – длительно сезоннопромерзающий. Второй группе (котловины Станового нагорья) свойственно как умеренное (единичные случаи), так и разной степени сильное зимнее охлаждение почвогрунтов. Преобладает глубокое (более 3.2 м) сезонное промерзание, которое в отдельных местоположениях смыкается с многолетней мерзлотой. Летом здесь прогревание почвогрунтов как умеренное, так и весьма слабое. Причём их весьма слабому прогреванию характерно протаивание лишь до определенной глубины. В большинстве котловин средняя годовая температура отрицательная по всему почвогрунтовому профилю. Типы мерзлотно-термического режима почвогрунтов в котловинах: длительно и глубоко сезоннопромерзающие, а также мерзлотные. Определены современные изменения показателей климата приземной атмосферы и почвы. Отмечена их хорошая согласованность. Зафиксированы положительные линейные тренды температур воздуха, почвы и атмосферных осадков. Регион БАМ демонстрирует значительное потепление, особенно зимой.

Ключевые слова: мерзлотно-термический режим, почвогрунты, климат, плато, котловины, Байкало-Амурская железнодорожная магистраль

DOI: 10.7868/S2412376525040129

ВВЕДЕНИЕ

В период планирования и строительства Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (далее – БАМ) на территории, непосредственно к ней прилегающей (зона освоения), весьма активно проводилась комплексная оценка природно-климатических условий. Основные исследования пришлись на 1970–1980-е годы. В первых научных обобщениях рассматривались многолетние особенности основных показателей климата, их расчётные параметры, необходимые при проектировании и строительстве различных промышленных объектов, биоклиматические

характеристики (Географические..., 1976; Климатические..., 1977; Климатические..., 1979). На основе большого объёма информации были построены климатическая (Байкало-Амурская..., 1978) и геокриологическая (Байкало-Амурская..., 1979) карты для всей зоны БАМа. В условиях сложного горно-котловинного рельефа восточной части Станового нагорья дана пространственная дифференциация снежного покрова (Коломыц, 1966).

Важным этапом исследований того периода стало формирование подхода к ландшафтно-географическому обеспечению освоения территории зоны БАМа (Михеев, 1987).

Ландшафтно-климатические исследования в этом регионе продолжаются и в последние годы. В частности, ведётся мониторинг многолетних термических условий почвогрунтов и многолетнемёрзлых пород в пределах Верхнечарской котловины и на прилегающих горных массивах (Сергеев и др., 2016).

Отмечено, что на всём протяжении БАМа, где присутствуют многолетнемёрзлые породы (далее – ММП), слабо изучен мерзлотно-термический режим почвогрунтов. В связи с этим возникает необходимость восполнения данного пробела в исследованиях, поставлены следующие задачи: во-первых, дать количественную оценку многолетнего мерзлотно-термического режима почвогрунтов и выявить закономерности его пространственного распределения; во-вторых, установить взаимосвязи между климатическими характеристиками приземной атмосферы и температурным режимом почвогрунтов; в-третьих, определить тенденции климатических изменений в системе “приземная атмосфера – почва”, поскольку, как отмечается в литературных источниках, “магистраль строится, следовательно, и её исследователям нужно успевать за ней” (Западный участок БАМа..., 2023, с. 366).

ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территория исследования – западный участок зоны БАМа, простирающейся в пределах 105–120° в.д. (города Усть-Кут – Чара). С запада на восток магистраль пересекает северную оконечность Лено-Ангарского плато (Средне-Сибирское плоскогорье), Предбайкальскую впадину, Байкальский хребет. Далее на северо-восток она проходит по территории северной оконечности Байкальской озёрной котловины, по Верхнеангарской, Муйско-Куандинской и Верхнечарской котловинам байкальского типа (Флоренсов, 1960) и соединяющим их гористым перемычкам. Северная оконечность Байкальской озёрной котловины с запада окаймлена Байкальским хребтом, а с востока – Баргузинским. Другие рассматриваемые крупные котловины обрамлены хребтами: Сынныр, Верхнеангарский, Южно-Муйский, Северо-Муйский, Кодар, Удокан, Каларский и др. Схема рассматриваемого участка зоны БАМа с расположением метеорологических станций показана на рис. 1.

Результативность исследований по указанной проблеме определяется современным состоянием информационной базы,

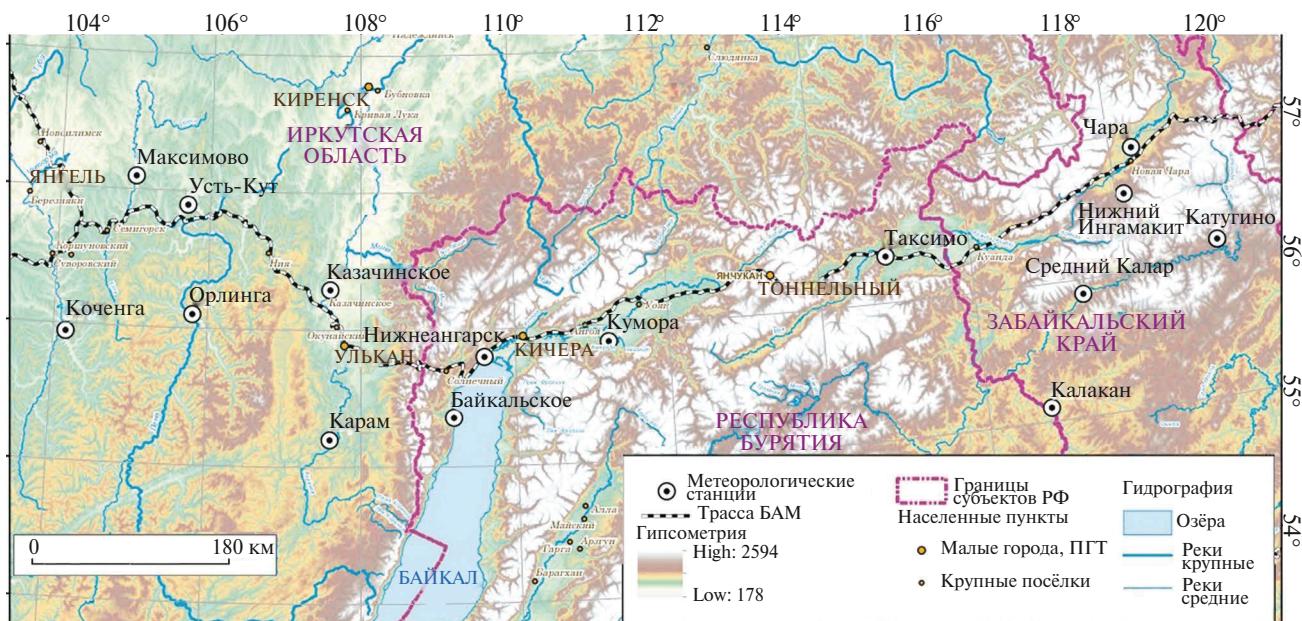


Рис. 1. Карта-схема западного участка Байкало-Амурской железнодорожной магистрали и расположение метеостанций

Fig. 1. Map diagram of the Baikal-Amur railway and the location of weather stations

сформированной на основе опубликованных гидрометеорологических данных метеостанций Иркутского и Забайкальского территориальных управлений по гидрометеорологии и контролю окружающей среды. Однако, как и во второй половине XX века, в настоящее время количество таких метеостанций в зоне БАМа остаётся недостаточным. К тому же они распределены по территории неравномерно и, за редким исключением, расположены на равнинах, в долинах рек, котловинах. Вследствие этого наши исследования мерзлотно-термического режима почвогрунтов до глубины 3.2 м не охватывают всё разнообразие природных условий, характерных для зоны БАМ.

С учётом значительной протяжённости исследуемого участка магистрали необходимо учитывать региональные различия природной среды, включая климатические особенности. Для корректного сопоставления результатов выбран единый временной интервал инструментальных наблюдений на всех метеостанциях – с 1978 по 1990 г. (Метеорологический ежемесячник..., 1978–1990). Этот период характеризуется высокой степенью однородности наблюдательных рядов и отсутствием существенных погрешностей в измерениях, что обеспечило качественную презентативность мерзлотно-термического режима в пространственно-временном аспекте.

Для решения поставленной задачи разработаны методы обработки, анализа и обобщения обширного массива данных, охватывающего годовой цикл наблюдений на пяти или восьми стандартных глубинах измерения температуры почвогрунтов (Трофимова, Балыбина, 2016; 2017; Балыбина, Трофимова, 2022). Из широкого набора параметров зимнего охлаждения и летнего прогревания почвогрунтового профиля отобраны наиболее информативные показатели – минимальные и максимальные средние месячные значения на каждой из стандартных глубин в течение года.

Поскольку моменты наступления экстремальных температур в течение года изменяются, отбор данных выполнен индивидуально для каждого года многолетнего ряда наблюдений. На основе полученного массива данных строятся вертикальные температурные профили, отражающие как глубинное распределение температур, так и их пространственную изменчивость.

Дополнительно анализируется сезонное промерзание и протаивание почвогрунтов,

оценивается термический режим, определяется глубина проникновения изотерм 10 и 15 °С, а также продолжительность периода, в течение которого температура почвогрунтов превышает указанные значения.

Для выявления тенденций климатических изменений в системе “приземная атмосфера – почва” использовалась база данных ВНИИГМИ-МЦД за 1970–2022 гг., включающая: температуру воздуха (Булыгина и др., 2024), годовые суммы атмосферных осадков (Булыгина и др., 2024), высоту снежного покрова (Булыгина и др., 2024), температуру почвы на глубине 0.8 м (Шерстюков, 2024).

Закономерности пространственно-временных изменений метеорологических показателей анализировались методами математической статистики: оценивалась изменчивость многолетних рядов метеорологических данных, применялись корреляционный метод и анализ трендовой составляющей. Для оценки согласованности многолетних рядов использовался корреляционный анализ. Определение тенденций многолетних изменений показателей проводилось методом наименьших квадратов. Для оценки достоверности (статистической значимости) коэффициентов корреляции взят критерий Стьюдента. Трендовые изменения аппроксимировались линейной функцией:

$$Y = a + bX, \quad (1)$$

где b – угловой коэффициент, измеряющий темп изменения параметра; a – свободный член (значение Y при $X = 0$); X – независимая переменная; Y – искомая переменная. Оценка достоверности уравнений проводилась по критерию Фишера (2). Для этого выполнялось сравнение рассчитанного критерия Фишера ($F_{\text{факт}}$) с табличным его значением ($F_{\text{табл}}$), которое показывает максимальное значение критерия под влиянием случайных факторов при выбранном уровне значимости (в данном случае 0.05). Критерий Фишера для однофакторной модели рассчитывался по следующей формуле:

$$F_{\text{факт}} = (n - 2)R^2 / (1 - R^2), \quad (2)$$

где n – число наблюдений; R^2 – коэффициент детерминации.

Если наблюдалось, что $F_{\text{факт}}$ превышает $F_{\text{табл}}$, признавалась статистическая значимость аппроксимирующей модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Климатообразующие факторы и региональные особенности климата. Основные факторы климатообразования – солнечная радиация, циркуляция атмосферы и подстилающая поверхность – тесно взаимосвязаны. Представление об особенностях солнечной радиации, которая прежде всего и определяет температурный режим поверхности почвы и приземного слоя воздуха, дают величины продолжительности солнечного сияния и суммарной радиации. Однако, учитывая небольшое число метеостанций (тем более ведущих актинометрические наблюдения) на рассматриваемом участке зоны БАМа, можно привести лишь локальные значения показателей солнечной радиации. Так, продолжительность солнечного сияния в Верхнечарской (днище) и Байкальской озёрной (побережье) котловинах составляет соответственно 1873 и 1948 ч/год, на севере Лено-Ангарского плато (Усть-Кут) – 1763 ч/год. Суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, в Муйско-Куандинской и Байкальской котловинах находится в пределах 3935–4191 МДж/м² в год, в Верхнечарской – 3600 МДж/м² в год, в северной части Лено-Ангарского плато – около 3825 МДж/м² в год (Климатические параметры..., 1977; Атлас Иркутской области..., 2004).

Большие различия макрорельефа в пределах рассматриваемой территории оказывают влияние на атмосферные процессы. Зона БАМа находится на стыке взаимодействия разнородных воздушных масс, поступающих с Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов, имеющих разную степень влияния на региональный климат. На фоне общей циркуляции атмосферы над районом исследований отмечается своеобразный барико-циркуляционный режим, формирование которого обусловливается большими различиями микрорельефа. В переходные сезоны преобладает западный и северо-западный перенос. Весной над Северным Ледовитым океаном формируется высотная депрессия, одна из ложбин которой распространяется на территорию исследования, происходит разрушение Сибирского антициклона. Осадки приносят циклоны, приходящие с запада и северо-запада. В летний период происходит ослабление западного переноса и преобладает поле пониженного давления со слабыми барическими градиентами. Существенное влияние оказывает северо-западная периферия летней депрессии, расположенной

над северо-восточными районами Китая. Так же усиливается меридиональная атмосферная циркуляция воздуха с юго-запада и юго-востока. Во второй половине лета на район исследования оказывает влияние постоянный центр действия атмосферы – Северо-Тихоокеанский максимум, который способствует вторжению океанических муссонов. С юго-запада влагу приносят в основном южные циклоны из Монголии, а с юго-востока влага поступает благодаря муссонной циркуляции. В сентябре происходит перестройка циркуляции на зимний тип, начинает формироваться Сибирский антициклон, влагонесущие потоки связаны в основном с западными циклонами. Зимой основное барическое образование у поверхности земли – Сибирский антициклон, сезонный центр действия атмосферы. Его северо-восточный отрог оказывает влияние на исследуемую территорию в зимний период.

В целом во все сезоны за период с 1970 по 2020 г. преобладал антициклональный тип погоды (18.5 % летом и 27.4 % зимой) (Osipova, Osipov, 2022). По результатам анализа обратных траекторий HYSPLIT, направления переноса влаги в район исследований были разделены на три основные группы: 1) циклоны, смещающиеся с запада и северо-запада; 2) полярные и ультраполярные вторжения арктического воздуха; 3) вторжения тропических воздушных масс морского происхождения (Osipova, Osipov, 2019).

Многолетний мерзлотно-термический режим почвогрунтов и его взаимосвязь с показателями климата приземной атмосферы. На формирование и изменение в пространстве и времени мерзлотно-термического режима почвогрунтов существенное влияние оказывают местные физико-географические факторы, теплофизические свойства самой почвы и почвообразующей породы. Среди климатических показателей, существенно влияющих на сезонное промерзание и температуру почвогрунтов, летом особое место занимает температура приземного слоя воздуха, зимой – температура воздуха и снежный покров.

На рис. 2, а–б, где показаны изменения с глубиной минимальных и максимальных средних месячных температур, на рассматриваемом участке зоны БАМа весьма отчётливо прослеживаются региональные различия: вполне определённо выделяются две группы метеостанций.

Первая относится к Лено-Ангарскому плато и Предбайкальской впадине, где на шести метеостанциях (см. рис. 2, а), анализировались температура и сезонное промерзание в основном

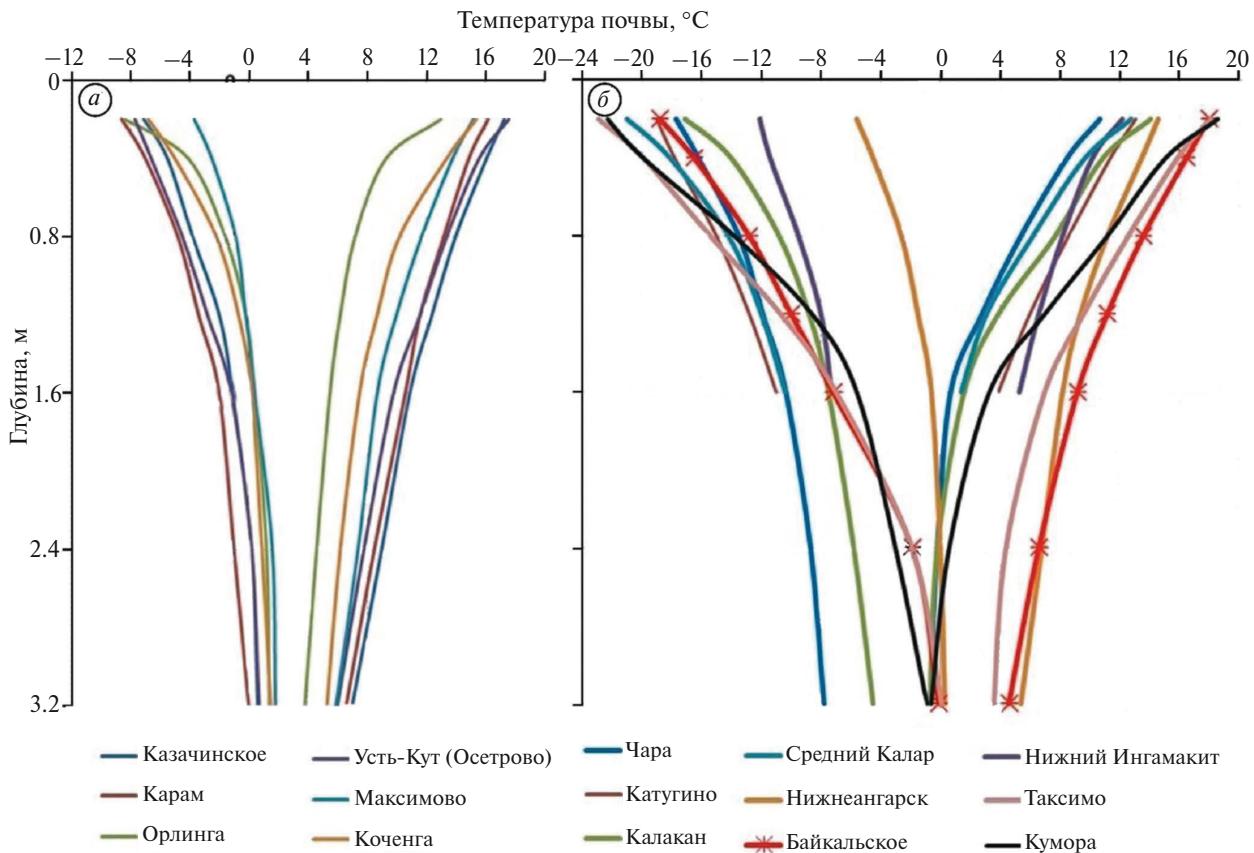


Рис. 2. Вертикальное распределение минимальной и максимальной средней месячной температуры почвы по глубине на западном участке Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (1978–1990): *а* – Лено-Ангарское плато и Предбайкальская впадина, *б* – котловины Станового нагорья

Fig. 2. Vertical distribution of minimum and maximum average monthly soil temperature by depth in the western section of the Baikal-Amur railway (1978–1990): *a* – Lena-Angara Plateau and Pre-Baikal Depression, *b* – basins of the Stanovoe Upland

суглинистых почвогрунтов. Вторую выделенную группу метеостанций западного участка зоны БАМ характеризуют показатели девяти метеостанций (см. рис. 2, *б*), расположенных непосредственно в крупных котловинах байкальского типа и в несколько удалённых от трассы БАМ малых котловинах забайкальского типа, являющихся географическими объектами с чёткими границами. В данных физико-географических условиях изменение температуры с глубиной имеет криповинейный характер и определяется сложным гранулометрическим составом почвогрунтового профиля: суглинистыми, супесчаными, песчаными слоями почвы с включением гальки, мелкими и крупными камнями, валунами.

В первой группе минимальные средние месячные температуры на глубине 0.2 м варьируют от -3.7° (Максимово) до -8.6° $^{\circ}$ С (Карам), на 3.2 м соответственно от 1.8° до 0.0° С.

Сезонное промерзание достигает глубины 1.3–2.3 м, в единичных случаях (Карам) опускается глубже (см. рис. 2, *а*). Продолжительность нахождения сезонной мерзлоты на глубине 0.2 м составляет шесть месяцев (ноябрь–апрель), на 0.8 м – четыре–пять месяцев (январь–апрель или май). Хотя варьирование зимнего охлаждения почвогрунтовой толщи в пространстве невелико, тем не менее, на площадках метеостанций Коченга, Орлинга, Максимово оно несколько слабее, чем на метеостанциях Усть-Кут (Осетрово), Казачинское, Карам, которые находятся вблизи небольших островов высокотемпературной многолетней мерзлоты (Лещиков, 2004).

Максимальная средняя месячная температура в тех же пунктах наблюдений колеблется от 17.6° до 13.0° $^{\circ}$ С на глубине 0.2 м, и от 7.0° до 4.0° $^{\circ}$ С на 3.2 м. Температура 15° С проникает до глубины 0.2–0.6 м, в самом верхнем слое она

сохраняется в июле–августе или только в июле. Температура 10 °С опускается от 0.4 до 1.8 м; на глубине 0.2 м она отмечается в июне–августе. Как и в случае зимнего охлаждения почвогрунтов, их летнее прогревание дифференцировано на две группы. Для площадок метеостанций со слабым зимним охлаждением почвогрунтов (Коченга, Орлинга, Максимово) характерно слабое летнее прогревание, а более сильному зимнему охлаждению (Усть-Кут (Осетрово), Казачинское, Карам), сопутствует более сильное летнее прогревание.

Отмечено, что для первой выделенной группы метеостанций западного участка зоны БАМ зимнее охлаждение и летнее прогревание почвогрунтов умеренное, а тип мерзлотно-термического режима – длительно сезоннопромерзающий с глубиной проникновения отрицательной температуры около 2.3 м и положительной средней годовой температурой по всему профилю. Данный тип мерзлотно-термического режима близок по своим характеристикам к типу территории Транссибирской железной дороги (Усть-Кут – Тайшет) [Трофимова, Балыбина, 2016].

Во второй группе метеостанций (котловины) минимальная средняя месячная температура почвогрунтов существенные различается: на глубине 0.2 м от –6 (Нижнеангарск) до –23 °С (Кумора, Таксимо), на глубине 1.6 м от –1 (Нижнеангарск) до –11 °С (Чара, Средний Калар, Катугино), а на глубине 3.2 м зафиксированы значения в пределах от 0.3 °С (Нижнеангарск) до –8 °С (Чара) (см. рис. 2, б).

Самое слабое зимнее охлаждение характерно для метеостанции Нижнеангарск, расположенной на побережье северной оконечности озёрной Байкальской котловины, где непосредственно и проходит железнодорожная магистраль. Сезонное промерзание здесь опускается до глубины 2.4 м. В верхнем слое оно сохраняется в ноябре–апреле, а на глубине 1.6 м в феврале–мае. На северо-западном побережье котловины (на некотором удалении от трассы БАМ) совершенно иной мерзлотно-термический режим. Отрицательная температура характерна для всего почвогрунтового профиля (метеостанция Байкальское). Особенno низкая минимальная температура в верхнем слое (от –20 °С на 0.2 м до –14 °С на 0.8 м). Сезонная мерзлота на глубине 0.2 м формируется в ноябре и сохраняется до апреля, на глубине 3.2 м значение температуры близкое к 0 °С характерно для марта–июля.

Три другие крупные котловины, которые пересекает БАМ, простираются в северо-восточном направлении. Северная часть озёрной Байкальской котловины сопряжена с сильно заболоченной дельтой р. Верхняя Ангара, соединяющейся непосредственно с Верхнеангарской котловиной. В её пределах ММП характеризуются глубоким залеганием, значительными колебаниями мощности и пестротой распространения в пространстве. В отдельных местоположениях котловины сезонное промерзание с большой долей вероятности смыкается с многолетней мерзлотой. Температура почвогрунтов (метеостанция Кумора – закрыта) на глубине 0.2 м составляет около –22 °С, на 3.2 м около –1 °С. Сезонное промерзание на глубине 0.2 м происходит в октябре–апреле, на глубину 1.6 м проникает в ноябре (декабре) и сохраняется до июля.

Оценка мерзлотно-термического режима в Муйско-Куандинской котловине проводилась по данным измерений на метеостанции Таксимо, расположенной в её юго-западной оконечности на правом берегу р. Муи. В зависимости от ландшафтных особенностей котловины здесь соседствуют талики и ММП. Весьма низкие отрицательные температуры наблюдаются на глубине до 1.2 м (песчаная толща), с глубиной (суглинистая с галькой) температура быстро растёт и на глубине 3.2 м она достигает значений близких к 0 °С, то есть сезонное промерзание распространяется на весь профиль. В самом верхнем слое (до 0.8 м) оно сохраняется в ноябре–апреле, в слое 1.2–1.6 м – в декабре–мае. На глубине 3.2 м близкая к 0 °С температура держится в марте–июле. В данном местоположении ММП могут присутствовать, но они не смыкаются с сезонномёрзлым слоем.

Верхнечарская котловина замыкает цепь крупных котловин байкальского типа в восточной части Станового нагорья. Для котловины характерна своеобразная природная контрастность. В данном аспекте достаточно детально изучены ландшафтное разнообразие (Михеев, 1974), почвенный покров (Кузьмин, 1976), климат и микроклимат (Караушева, 1977) и другие компоненты ландшафта. Формирование атмосферного климата здесь проходит под сильным влиянием котловинного эффекта и мощной температурной инверсии. Суровый, резко континентальный климат, проявляющийся в очень низких зимних и сравнительно высоких летних температурах, обусловил сезонное промерзание почвогрунтов и сохранение многолетней мерзлоты, залегающей здесь почти

повсеместно. Фоновый мерзлотно-термический режим почвогрунтов приводится по метеостанции Чара, расположенной в долине р. Чары. Полосой супесчано-песчаный с прослойками ила и гальки почвогрунтовой профиль имеет весьма низкие отрицательные температуры (на глубине 0.2 м -17.5 , на глубине 3.2 м около -8 $^{\circ}\text{C}$). Сезонное промерзание на глубине 0.2 м начинается в октябре и сохраняется до апреля. Уже с глубины 2.4 м отрицательная температура держится в течение всего года.

Для более полного представления о мерзлотно-термическом режиме почвогрунтов второй группы метеостанций западного участка зоны БАМа рассмотрены и малые котловины (забайкальский тип), расположенные на некотором удалении от магистрали. В малых котловинах, как и в крупных, отмечены весьма низкие отрицательные температуры почвогрунтов. Усиление охлаждения их происходит в следующей последовательности: метеостанции Нижний Ингамакит, Калакан, Катугино, Средний Калар. На глубине 0.2 м сезонное промерзание длится семь месяцев (октябрь–апрель), на глубине 1.6 м оно начинается в ноябре и сохраняется до июня–июля. В отдельных местоположениях (Калакан, Средний Калар) на глубине 3.2 м отрицательная температура отмечается в течение всего года.

Максимальная средняя месячная температура почвогрунтов, зафиксированная в тех же пунктах наблюдений (включая и малые котловины), варьирует в пространстве в основном от 19 до 11 $^{\circ}\text{C}$ на глубине 0.2 м, от 5.5 до -1.0 $^{\circ}\text{C}$ на глубине 3.2 м. Самое сильное их прогревание характерно для побережья северной оконечности озёрной Байкальской котловины (Нижнеангарск, Байкальское). Здесь положительная температура на глубине 0.2 м отмечается с мая по октябрь, 10 $^{\circ}\text{C}$ проникает до глубины 1.2–1.5 м, 15 $^{\circ}\text{C}$ – до 0.6 м. На глубине 3.2 м картина несколько иная. В Нижнеангарске на данной глубине положительная температура наблюдается в течение всего года, а на метеостанции Байкальское она характерна для августа–февраля. В данную градацию летнего прогревания почвогрунтов можно отнести и Муйско-Куандинскую котловину (Таксимо), хотя летом здесь теплее, чем на побережье Байкала.

Особое прогревание почвогрунтового профиля характерно для отдельных местоположений (Кумора) в Верхнеангарской котловине. А именно: достаточно высокая положительная температура самого верхнего слоя. Глубже она

последовательно снижается, а на глубине 2.6 м уже имеет отрицательные значения в течение всего года.

Самое слабое летнее прогревание почвогрунтов относится к Верхнечарской котловине (Чара). Положительная температура отмечена только до глубины 1.6–2.0 м (сезонноталый слой). На глубине 0.2 м она наблюдается с мая по сентябрь (иногда и в начале октября). При этом температура 10 $^{\circ}\text{C}$ опускается только до глубины 0.3 м (июль–август). Глубины 1.6 м достигают незначительные положительные значения в августе–октябре, иногда в ноябре. Глубже сохраняется отрицательная температура. Для открытых участков в пределах Верхнечарской котловины характерны сезонноталые почвогрунты, развивающиеся на многолетнемёрзлых породах.

Малые котловины забайкальского типа (метеостанции Нижний Ингамакит, Калакан, Катугино, Средний Калар) по летнему прогреванию почвогрунтов занимают промежуточное положение. Положительные температуры на 0.2 м держатся в течение мая–сентября, на 1.6 м сохраняются в июле–августе. Температура самого нижнего слоя близка к нулевым значениям.

В целом мерзлотно-термический режим почвогрунтов в каждой из котловин имеет специфические особенности: 1) зимний режим: умеренное охлаждение с положительной температурой глубже 2.4 м (Нижнеангарск) и сильное с температурой от -5 до -8 $^{\circ}\text{C}$ на глубине 3.2 м (Чара, Катугино, Средней Калар, Калакан). В других котловинах – очень сильное охлаждение почвогрунтового профиля сверху, а на 3.2 м температура приближается к 0 $^{\circ}\text{C}$ или слабо отрицательная; 2) летний режим: достаточно высокое прогревание всего почвогрунтового профиля (Нижнеангарск, Байкальское, Таксимо). В других местоположениях слабое прогревание верхней части профиля, а на глубине 3.2 м температура близка к 0 $^{\circ}\text{C}$ или слабо отрицательная.

Мерзлотно-термический режим почвогрунтов в котловинах можно отнести к длительно и глубоко сезоннопромерзающему типу (метеостанции Байкальское, Кумора, Таксимо) и мерзлотному (остальные метеостанции в котловинах). В большинстве случаев средняя годовая температура почвогрунтов отрицательная, что обусловлено наличием многолетней мерзлоты: в Верхнеангарской котловине она занимает около 50 площади котловины, в Муйско-Куандинской

до 80 % в Верхнечарской не менее 90 % территории (Некрасов и др., 1984).

Показатели климата (суммы средних суточных температур приземного слоя воздуха ниже -10 и выше 10°C , средние месячные температуры воздуха января и июля, высота снежного

покрова, годовые суммы атмосферных осадков), определяющие мерзлотно-термический режим почвогрунтов западного участка зоны БАМ приведены на рис. 3.

Отмечено, что в группе метеостанций Лено-Ангарского плато и Предбайкальской впадины

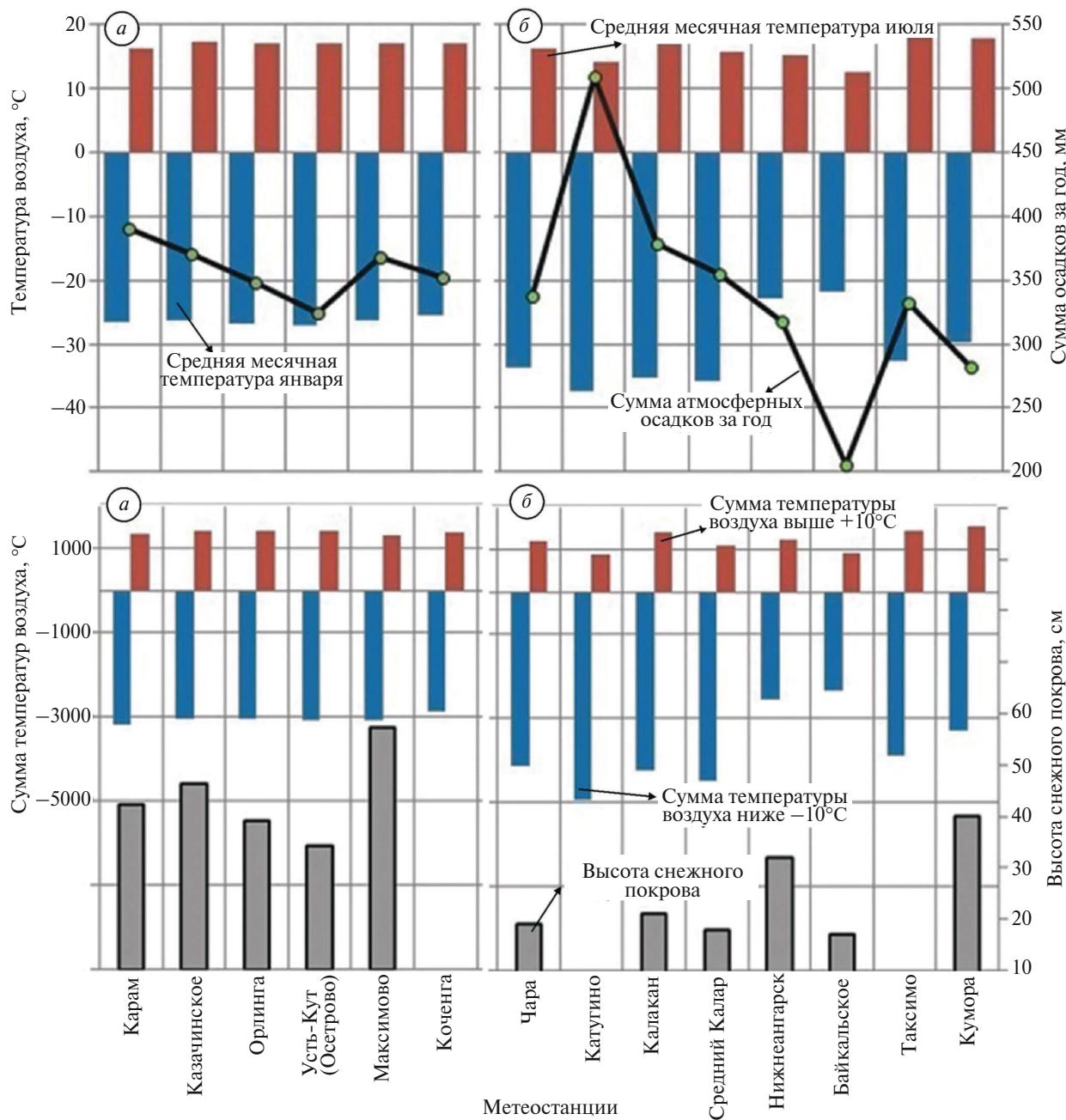


Рис. 3. Показатели климата западного участка зоны БАМ: *а* – Лено-Ангарское плато и Предбайкальская впадина, *б* – котловины Станового нагорья

Fig. 3. Climate indicators of the western section of the BAM zone: *a* – Lena-Angara plateau and the Pre-Baikal depression, *b* – basins of the Stanovoe Uplands

рассматриваемые показатели климата в пространстве изменяются незначительно. А в котловинах климатические условия заметно различаются. На побережье Байкальской котловины (Нижнеангарск, Байкальское) зимой теплее, а летом холоднее, чем в Верхнеангарской (Кумора) и Муйско-Куандинской (Таксимо) котловинах. По термическим условиям выделяются восточные котловины Станового нагорья более сильным выхолаживанием зимой и прогреванием летом. Высота снежного покрова в котловинах ниже, чем на Лено-Ангарском плато, а суммы годовых атмосферных осадков имеют большую изменчивость по территории. Отмеченные

характерные особенности климата и определяют мерзлотно-термический режим почвогрунтов зоны БАМ.

Годовая амплитуда температуры, рассчитанная как разность минимальной и максимальной средних месячных температур за год на всех глубинах почвогрунтового профиля, является одним из показателей термического режима (рис. 4).

Величина годовой амплитуды температуры почвогрунтовой толщи (континентальность) на рассматриваемом западном участке зоны БАМ показала её существенный рост в северо-восточном направлении (Усть-Кут – Чара). Причём изменчивость амплитуды для выделенных

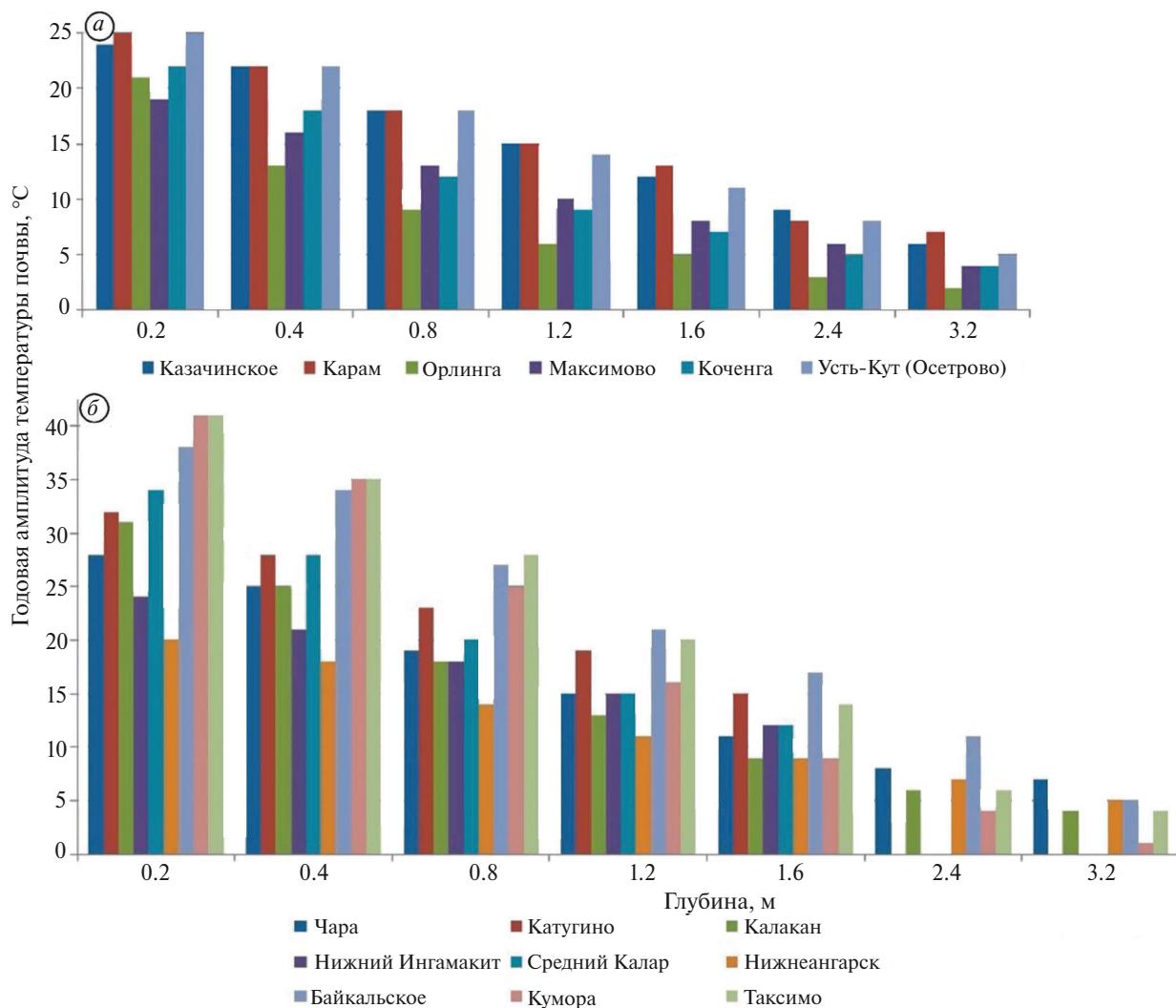


Рис. 4. Годовая амплитуда температуры почвы на стандартных глубинах измерения (1978–1990):

а – Лено-Ангарское плато и Предбайкальская впадина, б – котловины Станового нагорья

Fig. 4. Soil temperature annual amplitude at standard measurement depths (1978–1990): a – Lena-Angara plateau and Pre-Baikal depression, б – basins of the Stanovoe Upland

групп метеостанций неодинакова: для Лено-Ангарского плато и Предбайкальской впадины характерно незначительное пространственное разнообразие амплитуды (см. рис. 4, *a*), а более высокое значение амплитуды отмечено в котловинах Станового нагорья (см. рис. 4, *b*).

Климатические изменения в системе “приземная атмосфера – почва” в последние десятилетия. Для оценки изменений климата были выбраны ряды средней месячной и средней годовой температуры почвы на глубине 0.8 м за период с 1977 по 2020 г., температуры воздуха, сумм атмосферных осадков за год, высоты снежного покрова за период с 1970 по 2022 г.

Рассчитав корреляционные зависимости между вышеуказанными параметрами на исследуемых метеостанциях, можно сказать, что связь между температурами воздуха и почвы внутри своих сезонных циклов варьирует от умеренной (коэффициент корреляции $r \approx 0.5$) до хорошей ($r \approx 0.8$). В то же время связь с атмосферными осадками практически отсутствует ($r \leq 0.3$). Атмосферные осадки демонстрируют умеренные сезонные зависимости в летние месяцы (корреляции между суммами осадков за июль и август $r \approx 0.7$). Отрицательные корреляции между температурой воздуха в мае и атмосферными осадками в марте на метеостанции Чара ($r \approx -0.5$),

возможно, определяются затяжными весенними осадками. Температура почвы на глубине 0.8 м в январе имеет положительную корреляцию с высотой снежного покрова: Казачинское $r \approx 0.5$; Нижнеангарск $r \approx 0.7$; Калакан $r \approx 0.5$; Чара $r \approx 0.8$.

В таблице приведены рассчитанные значения трендов указанных гидрометеорологических показателей. Как можно видеть, практически все значения трендов температуры воздуха и почвы имеют положительный знак. На всех метеостанциях наблюдается потепление в январе и июле. Наибольший рост зимних температур воздуха – Таксимо ($+0.7^{\circ}\text{C}/10$ лет), Средний Калар ($+0.6^{\circ}\text{C}/10$ лет). Летнее потепление максимально в Нижнеангарске ($+0.7^{\circ}\text{C}/10$ лет) и Байкальском ($+0.6^{\circ}\text{C}/10$ лет). Для температуры почвы на глубине данные доступны только для части метеостанций. Самый высокий тренд в январе наблюдается в Чаре ($+1.4^{\circ}\text{C}/10$ лет), а в июле на метеостанции Калакан ($+1.5^{\circ}\text{C}/10$ лет). Орлинга и Калакан имеют отрицательный тренд в январе ($-0.3^{\circ}\text{C}/10$ лет), что может указывать на локальные аномалии. В то же время тренды средних годовых температур воздуха и почвы демонстрируют единообразие: на всех метеостанциях наблюдается рост температур воздуха на $0.3\text{--}0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет, температур почвы от 0.02 до $0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет. Также обращает на себя внимание увеличение годового количества атмосферных осадков и высоты

Таблица. Значения трендов (ед./10 лет) гидрометеорологических показателей

Table. Trend values (units/10 years) of hydrometeorological indicators

Метеорологическая станция	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$			Температура почвы на глубине 0.8 м, $^{\circ}\text{C}$			$\Sigma R_{\text{год}}$, мм	H , см
	T_1	T_{VII}	$T_{\text{ср.год}}$	T_1	T_{VII}	$T_{\text{ср.год}}$		
Казачинское	+0.4	+0.3	+0.4	+0.7	+0.3	+0.6	+5.1	+2.9
Карам	+0.2	+0.4	+0.3	–	–	–	+1.6	+0.7
Орлинга	+0.4	+0.3	+0.4	-0.3	+0.7	+0.02	+18.5	+0.9
Усть-Кут (Осетрово)	+0.3	+0.6	+0.5	–	–	–	+3.5	–
Максимово	+0.1	+0.4	+0.4	–	–	–	-3.3	+0.9
Чара	+0.4	+0.4	+0.4	+1.4	+0.5	+0.8	+14.6	-0.9
Катугино	+0.3	+0.3	+0.4	–	–	–	+45.5	–
Калакан	+0.5	+0.2	+0.3	-0.3	+1.5	+0.4	+28.3	+1.1
Средний Калар	+0.6	+0.3	+0.4	–	–	–	+19.7	+0.7
Нижнеангарск	+0.3	+0.7	+0.4	-0.08	+0.8	+0.3	+3.0	+0.6
Байкальское	+0.1	+0.6	+0.4	–	–	–	+9.0	–
Таксимо	+0.7	+0.4	+0.5	–	–	–	+8.1	+0.9

Примечание. $\Sigma R_{\text{год}}$, мм – сумма атмосферных осадков за год; H , см – наибольшая декадная высота снежного покрова; T_1 – средняя месячная температура в январе; T_{VII} – средняя месячная температура в июле; $T_{\text{ср.год}}$ – средняя годовая температура; – данные отсутствуют.

снежного покрова практически на всех исследуемых метеостанциях.

Таким образом, несмотря на широкое разнообразие мерзлотно-термического состояния почвогрунтов и климатических условий, на западном участке БАМа сохраняется устойчивая тенденция к потеплению. Эта тенденция, в частности, проявляется в интенсивном сокращении ледников хребта Кодар: за последние 160 лет их площадь уменьшилась на 61 % (Osipov, Osipova, 2014). Отмечается ускорение темпов деградации ледников, особенно в последние десятилетия. Так, только за период с 1995 по 2013 г. площадь кодарских ледников сократилась на 43 % (Osipov, Osipova, 2015).

Согласно модельным расчётом (Третий оценочный доклад..., 2022), при определённых сценариях развития климатической ситуации глобальная температура приземного воздуха будет продолжать расти на протяжении всего XXI века.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По оценкам многолетнего мерзлотно-термического режима почвогрунтов до глубины 3.2 м, а также ряда климатических показателей приземного слоя атмосферы на западном участке зоны Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (Усть-Кут – Чара) отчётливо прослеживаются региональные различия. На данной территории выделяются две группы метеостанций.

Первая относится к Лено-Ангарскому плато и Предбайкальской впадине, где характерна незначительная минимальная средняя месячная температура и неглубокое сезонное промерзание почвогрунтов (1.3–2.3 м), что свидетельствуют об их умеренном зимнем охлаждении. Максимальная средняя месячная температура и глубина проникновения 10 °С позволяет отнести их летнее прогревание к умеренному. Средняя годовая температура всей почвогрунтовой толщи (0.2–3.2 м) положительная. И зимний, и летний режимы территориально различается незначительно. Тип мерзлотно-термического режима – длительно сезоннопромерзающий.

Вторая группа станций относится к котловинам Станового нагорья. Поскольку котловины имеют индивидуальные особенности (расположение, размер, форма, глубина и т.д.), оценка климатических условий и мерзлотно-термического режима почвогрунтов рассмотрена отдельно по каждой из них. Минимальная средняя месячная температура и сезонное

промерзание почвогрунтов в котловинах имеет широкий диапазон. По этим показателям самое слабое (умеренное) зимнее охлаждение характерно для побережья северной оконечности озёрной Байкальской котловины, обусловленное мягкой зимой и умеренной снежностью. В других котловинах зафиксировано весьма сильное зимнее охлаждение разной степени с глубоким (более 3.2 м) сезонным промерзанием, которое в отдельных местоположениях смыкается с многолетней мерзлотой.

Летнее прогревание почвогрунтов также значительно варьирует в пространстве: самое сильное присуще побережью Байкальской котловины, самое слабое – Верхнечарской котловине, где летом протаивание ограничивается глубиной около 2 м, глубже сохраняется отрицательная температура. С глубины 2.4–2.8 м слабая отрицательная температура зафиксирована и в других котловинах. Разнообразие показателей мерзлотно-термического режима определяет принадлежность территорий к различным типам: длительно и глубоко сезоннопромерзающему, и мерзлотному. Для мерзлотного типа характерны отрицательные среднегодовые температуры на всей глубине почвогрунтового профиля.

Континентальность климата приземной атмосферы и климата почвогрунтов усиливается в северо-восточном направлении. Хотя в котловинах климат может быть как умеренно континентальный, так и резко континентальный.

Отмечено, что происходящие современные изменения температуры приземной атмосферы определяют реакцию температуры почв, а именно: для их многолетних рядов отмечены хорошая согласованность и положительные линейные тренды. Для региона БАМа характерно значительное потепление, особенно зимой. Увеличение осадков в большинстве районов может усиливать риски паводков и эрозии почв. Существуют проблемы с данными (особенно для температуры почвогрунтов), что требует уточнения и верификации.

Происходящие современные климатические изменения в системе “приземная атмосфера – почва” и частичное или полное изменение естественных географических объектов как результат нового этапа строительства железнодорожной магистрали следует рассматривать совместно с позиции охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Более того, несколько изменившиеся климатические условия и мерзлотно-термический режим почв

и грунтов целесообразно включать в основу оценки раздельного характера ведения потенциальных хозяйственных мероприятий на разных участках магистрали. Особенно это важно для мерзлотных почвогрунтов котловин с локальными хозяйственными производствами в настоящее время, и в отношении предполагаемой тенденции освоения.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы НИР (AAAA-A21-121012190059-5).

Acknowledgments. The work was carried out within the framework of the research topic (AAAA-A21-121012190059-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас. Иркутская область: Экологические условия развития. М.: Иркутск: Изд-во Ин-та геогр. им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2004. 90 с.
- Байкало-Амурская железнодорожная магистраль. Геокриологическая карта масштаба 1:2 500 000 / Отв. ред. И.А. Некрасов. М.: ГУГК, 1979. 2 с.
- Байкало-Амурская железнодорожная магистраль. Климатическая карта масштаба 1:2 500 000 / Отв. ред. И.А. Гольцберг. М.: ГУГК, 1978. 2 с.
- Балыбина А.С., Трофимова И.Е. Подходы к картографированию термического режима почв в условиях контрастного рельефа Забайкалья // Геодезия и картография. 2022. № 10. С. 20–28.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных характеристик снежного покрова на метеорологических станциях России и бывшего СССР. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621201. 2014 // Электронный ресурс. <http://meteo.ru/data/snow-cover/> Дата обращения: 24.12.2024.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. 2015 // Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/total-precipitation/> Дата обращения: 24.12.2024.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. Описание массива данных среднемесечной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485. 2014 // Электронный ресурс. <http://meteo.ru/data/temperature/> Дата обращения: 24.12.2024.
- Географические исследования в зоне БАМ / Отв. ред. В.Р. Алексеев, В.В. Воробьев. Иркутск: Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока, 1976. 127 с.
- Западный участок БАМа: прошлое, настоящее и будущее: очерки истории, географии, культуры.
- К 50-летию Байкало-Амурской магистрали / Науч. ред. Ю.А. Зуля. Иркутск: Изд-во Иркутского го- суд. ун-та, 2023. 367 с.
- Караушиева А.И. Климат и микроклимат района Кодар–Чара–Удокан. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 129 с.
- Климатические особенности зоны БАМ / Отв. ред. Г.И. Галазий, Н.П. Ладейщикова. Новосибирск: Наука, 1979. 144 с.
- Климатические параметры зоны освоения Байкало-Амурской магистрали. Справочное пособие / Отв. ред. Л.Е. Анапольская, И.Д. Копанев. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 133 с.
- Коломыц Э.Г. Снежный покров горно-таежных ландшафтов севера Забайкалья. М., Л.: Наука, 1966. 183 с.
- Кузьмин В.А. Почвы котловин байкальского типа. Иркутск: Ин-т геогр. Сибири и Дальнего Востока, 1976. 144 с.
- Лещиков Ф.Н. Многолетняя мерзлота и сезонное промерзание горных пород. Карта № 47, М 1:2 500 000 // Атлас. Иркутская область: Экологические условия развития. М.; Иркутск: Изд-во Ин-та геогр. СО РАН, 2004.
- Метеорологический ежемесячник (1978–1990 гг.). Новосибирск. Вып. 22. Ч. 2; Чита, Вып. 23. Ч. 2.
- Михеев В.С. Верхнечарская котловина: опыт типологического изучения ландшафта. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 1974. 144 с.
- Михеев В.С. Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири. Новосибирск: Наука, 1987, 207 с.
- Некрасов И.А., Ан В.В., Соловьева Л.Н. Мерзлые породы и охрана природы крупных впадин Станового нагорья // Человек и природа в зоне БАМ. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Иркутск, Институт географии СО АН СССР, 1984. С. 46–58.
- Сергеев Д.О., Станиловская Ю.В., Перльштейн Г.З., Романовский В.Е., Безделова А.П., Алексютина Д.М., Болотюк А.Н., Хименков М.М., Капралова В.Н., Мотенко Р.Г., Малеева А.Н. Фоновый геокриологический мониторинг в Северном Забайкалье // Криосфера Земли. 2016. Т. 20. № 3. С. 24–32.
- Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург: Наукомкие технологии, 2022. 124 с.
- Трофимова И.Е., Балыбина А.С. Географические закономерности летнего термического режима почв в Забайкалье // География и природные ресурсы. 2017. № 4. С. 105–113.
- Трофимова И.Е., Балыбина А.С. Классификация и географические закономерности термического режима почв Иркутской области // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 81–90.

Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 260 с.

Шерстюков А.Б. Массив суточных данных о температуре почвы на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД // Электронный ресурс. <http://meteo.ru/data/soil-temperature/> Дата обращения: 24.12.2024.

Osipov E. Y., Osipova O. P. Glaciers of the Levaya Sygykta River watershed, Kodar Ridge, southeastern Siberia, Russia: modern morphology, climate conditions and changes over the past decades. *Environ. Earth Sci.* 2015. V. 74. № 3. P. 1969–1984. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4352-4>

Osipov E. Y., Osipova O. P. Mountain glaciers of southeast Siberia: current state and changes since the Little Ice Age // *Annals of Glaciology*. 2014. V. 55. № 66. P. 167–176. <https://doi.org/10.3189/2014AoG66A135>

Osipova O. P., Osipov E. Y. Atmospheric circulation processes and precipitation regime in the Northern part of the Baikal Mountain region // *Russia Meteorology, Hydrology*. 2019. V. 44. P. 695–703. <https://doi.org/10.3103/S106837391910008X>

Osipova O. P., Osipov E. Y. Objective classification of weather types for the Eastern Siberia over the 1970–2020 period using the Jenkinsson and Collison method // *Atmosphere Research*. 2022. V. 277. P. 106291. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106291>

Citation: Balybina A. S., Osipova O. P., Trofimova I. E. Thermal regime of frozen soils in the area of the Baikal-Amur Mainlane. *Led i Sneg. Ice and Snow.* 2025, 65 (4): 688–702. [In Russian]. doi: 10.7868/S2412376525040129.

Thermal regime of frozen soils in the area of the Baikal-Amur Mainlane (BAM)

© 2025 A. S. Balybina[#], O. P. Osipova, I. E. Trofimova

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

[#]e-mail: balybina@irigs.irk.ru

Received April 9, 2025; revised June 16, 2025; accepted September 25, 2025

The results of a study of the long-term climatic changes in the “surface air – soil” system to a depth of 3.2 m in the western section of the Baikal-Amur Mainline (BAM) railway are discussed. The monthly average minimum and maximum ground temperatures and characteristics of seasonal freezing and thawing are considered. There are clear regional differences in climatic conditions for the two groups of weather stations. The first group (Lena-Angara plateau and Pre-Baikal depression) is characterized by moderate winter cooling and summer warming in soils with positive mean annual temperature. The type of permafrost thermal regime is long-term seasonal freezing. The second group (Stanovoy Upland basins) is characterized by both moderate (isolated cases) and strong winter cooling in soils. Deep (more than 3.2 m) seasonal freezing prevails, which in some landscapes merges with permafrost. In summer, the ground warming is moderate and weak. Very weak warming is characterized by thawing only to a certain depth. In most basins, the mean annual temperature is negative throughout the soil profile. The types of permafrost thermal regime in the basins are long-term and deeply seasonally frozen type. Current changes in the climate indicators of the surface air and soil have been identified. Their good consistency has been noted. Positive linear trends in precipitation, air and soil temperatures have been recorded. The BAM region shows significant warming, especially in winter.

Keywords: permafrost thermal regime, soil, climate, plateau, basins, Baikal-Amur Mainline

REFERENCES

Atlas. Irkutskaya oblast': Ekologicheskie usloviya razvitiya. Atlas Irkutsk region: Environmental conditions of development. Moscow: Irkutsk: Publishing House of the Institute of Geography V. B. Sochava SB RAS, 2004: 90 p. [In Russian].

Baikalo-Amurskaya zheleznodorozhnaya magistral'. Geokriologicheskaya karta m-ba 1:2 500 000. Baikal-Amur railway. Geocryological map of m-ba 1:2500000. Moscow: Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1979: 2 p. [In Russian].

Baikalo-Amurskaya zheleznodorozhnaya magistral. Klimaticheskaya karta m-ba 1:2 500 000. Baikal-Amur

- railway. Climate map of m-ba 1:2500000. Moscow: Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1978: 2 p. [In Russian].
- Balybina A.S., Trofimova I.E.* Approaches to mapping the thermal regime of soils in the conditions of the contrasting relief of Transbaikalia. *Geodeziya i kartografiya*. Geodesy and Cartography. 2022, 10: 20–28. [In Russian].
- Bulygina O.N., Razuvayev V.N., Alexandrova T.M.* Description of the data set of snow cover characteristics at meteorological stations in Russia and the former USSR. Certificate of state registration of the database No. 2014621201. 2014. Retrieved from: <http://meteo.ru/data/snow-cover> (Last access: December, 24 2024) [In Russian].
- Bulygina O.N., Razuvayev V.N., Korshunova N.N., Shvets N.V.* Description of the data array of monthly precipitation amounts at Russian stations/ Certificate of state registration Database registration No. 2015620394. 2015. Retrieved from: <http://meteo.ru/data/total-precipitation> (Last access: December, 24 2024). [In Russian].
- Bulygina O.N., Razuvayev V.N., Trofimenco L.T., Shvets N.V.* Description of the array of data on the average monthly air temperature at Russian stations. Certificate of State registration of the database No. 2014621485. 2014. Retrieved from: <http://meteo.ru/data/temperature> (Last access: December, 24 2024). [In Russian].
- Geograficheskie issledovaniya v zone BAM*. Geographical research in the BAM zone. Irkutsk: Institute of Geography of Siberia and the Far East of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1976: 127 p. [In Russian].
- Zapadnyi uchastok BAMa: proshloe, nastoyashchee i budushchee: ocherki istorii, geografii, kul'tury. K 50-letiyu Baikalo-Amurskoi magistrali*. The western section of BAM: past, present and future: essays on history, geography, culture. On the 50th anniversary of the Baikal-Amur Mainline. Irkutsk: Irkutsk State University Press, 2023: 367 p. [In Russian].
- Karausheva A.I. Klimat i mikroklimat raiona Kodar–Chara–Udokan*. Climate and microclimate of the Kodar–Chara–Udokan region. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1977: 129 p. [In Russian].
- Klimaticheskie osobennosti zony BAM*. Climatic features of the BAM zone. Novosibirsk: Nauka, 1979: 144 p. [In Russian].
- Klimaticheskie parametry zony osvoeniya Baikalo-Amurskoi magistrali, Spravochnoe posobie*. Climatic parameters of the Baikal-Amur mainline development zone. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1977: 133 p. [In Russian].
- Kolomyts E.G. Snezhnyi pokrov gorno-taежnykh landshaftov severa Zabaikal'ya*. Snow cover of mountain-taiga landscapes of the north of Transbaikalia. Moscow, Leningrad: Nauka, 1966: 183 p. [In Russian].
- Kuzmin V.A. Pochvy kotlovin baikalskogo tipa*. Soils of Baikal-type basins. Irkutsk: Institute of Geography of Siberia and the Far East of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1976: 144 p. [In Russian].
- Leshchikov F.N. Permafrost and seasonal freezing of rocks. Map No. 47, M 1: 2500000. Atlas. Irkutskaya oblast': Ekologicheskie usloviya razvitiya*. Atlas. Irkutsk region: Environmental conditions of development. Moscow, Irkutsk: Publishing House of the Institute of Geography SB RAS, 2004. [In Russian].
- Meteorologicheskiy ezhemesyachnyi (1978–1990 gg)*. Meteorological Monthly (1978–1990). Novosibirsk, 22 (2); Chita, 23 (2). [In Russian].
- Mikheev V.S. Verkhnecharskaya kotlovina: opyt tipologicheskogo izucheniya landshafta*. Verkhnecharskaya hollow: the experience of typological study of the landscape. Novosibirsk: Nauka Siberian Branch, 1974: 144 p. [In Russian].
- Mikheev V.S. Landshaftno-geograficheskoe obespechenie kompleksnykh problem Sibiri*. Landscape and geographical support of complex problems of Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., 1987: 207 p. [In Russian].
- Nekrasov I.A., An V.V., Solov'yova L.N.* Permafrost and Nature Conservation in the Large Depressions of the Stanovoye Highland. *Chelovek i priroda v zone BAM. Ohrana okruzhayushchey sredy i rational'noe ispol'zovanie prirodnnyh resursov*. Man and Nature in the BAM Zone. Environmental Protection and Rational Use of Natural Resources. Irkutsk, Institute of Geography SB USSR Academy of Sciences, 1984: 46–58. [In Russian].
- Sergeev D.O., Stanilovskaya Yu.V., Perl'shtein G.Z., Romanovskii V.E., Bezdelova A.P., Alekseyutina D.M., Bolotyuk A.N., Khimenkov M.M., Kapralova V.N., Motenko R.G., Maleeva A.N.* Background geocryological monitoring in Northern Transbaikalia. *Kriosfera Zemli*. Cryosphere of the Earth. 2016, 20: 3: 24–32. [In Russian].
- Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obshchee rezyume*. The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary. Saint Petersburg: Science-intensive Technologies, 2022: 124 p. [In Russian].
- Trofimova I.E., Balybina A.S.* Classification and geographical patterns of the thermal regime of soils of the Irkutsk region. *Geografiya i prirodnye resursy*. Geography and Natural Resources. 2016, 4: 81–90. [In Russian].
- Trofimova I.E., Balybina A.S.* Geographical patterns of the summer thermal regime of soils in Transbaikalia. *Geografiya i prirodnye resursy*. Geography and Natural Resources. 2017, 4: 105–113. [In Russian].
- Florensov N.A. Mezozoiskie i kainozoiskie vpadiny Pribaikalya*. Mesozoic and Cenozoic depressions of the Baikal

- region. Moscow, Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960: 260 p. [In Russian].
- Sherstyukov A.B.* Array of daily data on soil temperature at depths up to 320 cm according to meteorological stations of the Russian Federation. Obninsk: VNIIG-MI-MCD. Retrieved from: <http://meteo.ru/data/soil-temperature>. (Last access: December, 12 2024) [In Russian].
- Osipov E.Y., Osipova O.P.* Glaciers of the Levaya Sygykta River watershed, Kodar Ridge, southeastern Siberia, Russia: modern morphology, climate conditions and changes over the past decades. *Environ. Earth Sci.* 2015, 74 (3): 1969–1984.
<https://doi.org/10.1007/s12665-015-4352-4>
- Osipov E.Y., Osipova O.P.* Mountain glaciers of southeast Siberia: current state and changes since the Little Ice Age. *Annals of Glaciology.* 2014, 55 (66): 167–176. <https://doi.org/10.3189/2014AoG66A135>
- Osipova O.P., Osipov E.Y.* Atmospheric Circulation Processes and Precipitation Regime in the Northern Part of the Baikal Mountain Region // *Russian Meteorology. Hydrology.* 2019, 44 (10): 695–703. <https://doi.org/10.3103/S106837391910008X>
- Osipova O.P., Osipov E.Y.* Objective classification of weather types for the Eastern Siberia over the 1970–2020 period using the Jenkinson and Collison method. *Atmosphere Research.* 2022, 277: 106291. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106291>.