

ИССЛЕДОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ БАЙКАЛА

УДК 551.50; 551.583.4

А. С. БАЛЫБИНА, И. Е. ТРОФИМОВА

Институт географии СО РАН, г. Иркутск

ДЕНДРОИНДИКАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ В КОТЛОВИНАХ БАЙКАЛЬСКОГО ТИПА

Показан отклик радиального прироста хвойных пород деревьев на погодичные колебания температуры почвы Байкальской и Верхнехарарской котловин. Выявлена достоверная корреляционная связь между вариациями температуры почвы и изменчивостью индекса прироста хвойных пород в марте и июле–августе (исключение — засушливое Приольхонье). По древесно-кольцевым хронологиям проведена реконструкция температуры почвы на глубине 0,8 м. Установлено, что в величину положительного тренда температуры почвы наибольший вклад вносит ее интенсивное повышение в последнем десятилетии XX столетия.

Ключевые слова: котловины байкальского типа, древесно-кольцевые хронологии, индикация, прирост годичных колец, функция отклика, реконструированная температура почвы.

A response of radial increments in coniferous species to year-to-year fluctuations in soil temperature of the Baikal and Upper-Chara depressions is demonstrated. The study revealed a reliable correlation between soil temperature variations and variability in the increment index of coniferous species in March and July–August (exclusive of the droughty Priolkhonie). Soil temperature at a depth of 0.8 m was reconstructed from tree-ring chronologies. It is found that the largest contribution to the value of a positive trend of soil temperature is made by its intense rise during the last decade of the 20th century.

Keywords: Baikalian-type depressions, tree-ring chronologies, indication, annual ring increment, response function, reconstructed soil temperature.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из ведущих факторов, определяющих функционирование, динамику, структурные преобразования всей природной системы или ее отдельных компонентов, является климат. Поэтому любые его изменения во времени вызывают ответную реакцию системы. Проведенная систематизация и анализ многочисленных исследований изменений климата свидетельствуют о том, что современное потепление климата, которое на территории России имеет место преимущественно с середины XX в., продолжается до настоящего времени. Более того, в последние десятилетия увеличились частота и интенсивность экстремальных гидрометеорологических явлений [1]. Естественно, проявление изменений климата неоднозначно во времени и пространстве. То, что современное потепление климата вызвало смещение ботанико-географических зон, зафиксировано в Субарктике. Здесь отмечено продвижение тайги к северу, которое, по прогнозам, к 2050 г. составит 10–15 км [2]. Оценивая современные пространственно-временные изменения климата, делается вывод, что подобные циклы потепления отмечались и в далеком прошлом, но могли иметь разные интенсивность и продолжительность [3, 4].

Не менее актуальна оценка изменений термического режима почв (почвенно-грунтовых толщ), геоэкологических условий, которые происходят вслед за колебанием климата. В пространстве они не всегда однозначны, так как определяются совокупным воздействием климатических, ландшафтно-геологических и других факторов [1]. Между тем термическое состояние почв может рассматриваться как приоритетный показатель, отражающий интегральные качества климатического ресурса территории.

Поскольку инструментальные наблюдения за параметрами климата и температурой почвы на метеорологических станциях имеют ограниченный период, то косвенным индикатором их многолет-

ней динамики могут быть дендрохронологические данные. Это утверждение основано на многочисленных исследованиях, в результате которых установлен ряд зависимостей между колебаниями климатических параметров и изменчивостью радиального прироста хвойных пород [5, 6]. Однако изучению отклика годовичного прироста древесных колец на изменение температуры почвы уделяется мало внимания. Между тем в условиях современного потепления климата и повышения температуры почвы, особенно в тех районах, где хорошо выражена тенденция термической деградации мерзлых пород, достаточно высока вероятность возникновения нарушений в структуре и характере функционирования природных и природно-технических систем.

Следует отметить, что режимные наблюдения за температурой почвы на территории Сибири ведутся в основном лишь с середины XX в., поэтому древесно-кольцевые хронологии позволяют продлить ряды на сотни лет назад и, соответственно, выявить динамику термического состояния почв за длительный период.

РАЙОНЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА В СИСТЕМЕ АТМОСФЕРА–ПОЧВА

Исследования отклика прироста древесных колец на температуру почвы проведены в существенно различающихся по природно-климатическим и геокриологическим условиям котловинах байкальского типа: Байкальской и Верхнечарской (рис. 1).

Особое место в исследованиях климата и термического состояния почв занимает Байкальская котловина, так как оз. Байкал и его окружению в 1996 г. придан статус Участка всемирного природного наследия ЮНЕСКО с особым режимом природопользования. Формирование климата здесь определяется характером взаимодействия атмосферы, поверхности суши и акватории озера. Котловина имеет значительную протяженность с юго-запада на северо-восток, сложно расчлененное горное обрамление и разномасштабные вскрытия (долины, пади и т. д.) в бортах котловины. Поэтому здесь наблюдаются особые формы горизонтальной и вертикальной организации региональной климатической системы.

При определенном единстве байкальского горно-котловинного климата, обусловленном термическим влиянием водных масс озера на прилегающую сушу (отепляющее в течение осени и зимы и охлаждающее в остальное время года), все же наблюдается его сложная пространственная дифференциация [7]. По условиям режима тепла и влаги здесь выделены несколько типов климата: от засушливого, умеренно теплого или холодного до повышенно (избыточно) влажного, умеренно теплого или холодного лета; от умеренно холодной до суровой, малоснежной или многоснежной зимы [8].

Наблюдения за термическим режимом почвы (почвенно-грунтовой толщи 3,2 м) на метеорологических станциях проводились только на побережьях озера, островах Ольхон и Бол. Ушканий. Его пространственная дифференциация достаточно высокая. По многолетним данным, зимнему периоду года присущи следующие градации

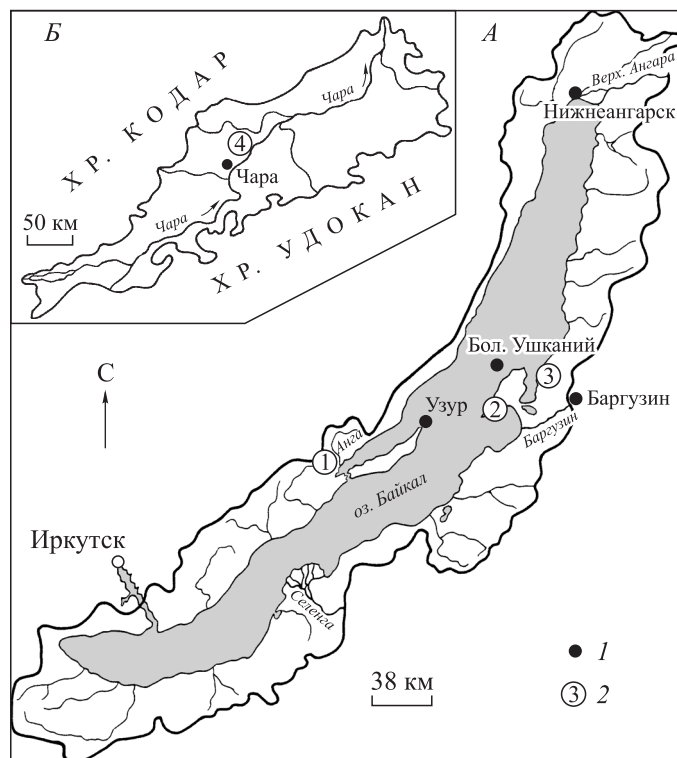


Рис. 1. Схема расположения метеорологических станций и районов взятия образцов древесины на территории Байкальской (А) и Верхнечарской (Б) котловин.

1 — метеостанция; 2 — местооположение отбора кернов: 1 — Приольхонье, 2 — п-ов Святой Нос, 3 — побережье Чивыркуйского залива, 4 — Верхнечарская котловина.

термического состояния почв: 1) слабое охлаждение всей почвенной толщи с непродолжительным и неглубоким сезонным промерзанием; 2) интенсивное или весьма интенсивное охлаждение с продолжительным и глубоким сезонным промерзанием. Летом почвы прогреваются интенсивно или умеренно интенсивно. В многолетней динамике прослеживается тенденция повышения температуры почвы, что согласуется с современным потеплением климата в Байкальской котловине [9].

Совершенно иные природные и климато-геокриологические условия присущи Верхнечарской котловине, которая простирается на северо-восток от северной оконечности оз. Байкал и замыкает цепь крупных котловин байкальского типа. Несмотря на отличие природы котловины от окружающих ее хребтов (Кодар, Удокан), она, как и все крупные котловины байкальского типа, имеет горный характер [10].

Климат здесь резко континентальный. Его формирование проходит под влиянием котловинного эффекта, циркуляционного и инсоляционного факторов, мощной температурной инверсии. Для Верхнечарской котловины и ее горного обрамления характерна большая неоднородность распределения метеорологических элементов. Зимой самая низкая температура воздуха на высоте 700–800 м над ур. моря (днище котловины). С высотой (до определенного уровня) она существенно повышается. Летом, наоборот, днище значительно теплее окружающих хребтов. Атмосферных осадков внутри котловины выпадает очень мало. Высота снежного покрова не превышает 19–21 см, хотя уже на склонах хребтов она достигает 80–100 см. Тем не менее днище котловины почти всегда находится в переувлажненном состоянии. Причина в том, что большое количество воды поступает в нее по горным рекам. Кроме того, в пределах котловины определен вклад в избыток влаги и недостаток тепла вносит многолетняя мерзлота, которая залегает здесь практически сплошь, а протаивает летом лишь на небольшую глубину [11].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения отклика радиального прироста хвойных пород деревьев на изменение температуры почвы на глубине 0,8 м используются древесно-кольцевые хронологии лиственницы и кедра, однако лиственница обладает более широким набором эколого-биологических свойств, которые определяют ее высокую чувствительность к климатическим колебаниям. Важно и то, что лиственница способна произрастать в резко континентальном климате и на многолетнемерзлых породах [12].

В Байкальской котловине древесные керны лиственницы и кедра получены на территории Прибайкальского (Приольхонье) и Забайкальского (побережье п-ова Святой Нос и материковое побережье Чивыркуйского залива) природных национальных парков. Связь радиального прироста древесины с температурой почвы устанавливали с привлечением данных метеостанций, близлежащих к месту взятия образцов: Узур (1967–2006 гг.), Бол. Ушканий (1967–2000 гг.), Нижнеангарск (1967–2006 гг.). Дополнительно были включены данные по температуре почвы (1967–2006 гг.) метеостанции Баргузин, расположенной в южном замыкании Баргузинской котловины, где также прослеживается достаточно осязаемое термическое влияние на климат водной массы Байкала.

В Верхнечарской котловине образцы лиственницы получены в подгорном местоположении, а температура почвы — на метеостанции Чара (1967–1998 гг.) (см. рис. 1). Приведем индексы серий деревьев (Л6, К2, Л2, Л1) с указанием расположения места отбора кернов и соответствующие им метеостанции: Л6/п-ов Святой Нос (м/ст. Нижнеангарск); Л6/п-ов Святой Нос (м/ст. Бол. Ушканий); К2/Чивыркуйский залив, побережье (м/ст. Баргузин); Л2/Приольхонье, устье р. Харга (м/ст. Узур); Л1/Верхнечарская котловина (м/ст. Чара).

На каждом из участков отбиралось до 15 образцов кернов лиственницы (Л) или кедра (К). В работе использовались обобщенные древесно-кольцевые хронологии для каждого исследованного участка. Средняя временная протяженность хронологий 120 лет. Буровые керны отбирались на высоте 1,3 м с северной стороны ствола с помощью возрастных буравов. Образцы брались у здоровых деревьев. По отобраным образцам после измерения ширины годичных колец (ШГК) были построены индивидуальные древесно-кольцевые хронологии, которые перекрестно датировались методом cross-dating с применением автоматизированной системы LINTAB в программном пакете TSAP. При построении обобщенных рядов в первую очередь производилось индексирование рядов ШГК каждого образца. Степень влияния климатических факторов на древесный прирост оценивалась с помощью функции отклика. Количественная реконструкция основана на решении уравнения линейной регрессии. Расчеты проводились в пакете «Анализ данных» программы Excel. Статистическая значимость регрессионной модели оценивалась с помощью средней ошибки аппроксимации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рассматриваемых метеостанциях в Байкальской котловине четко прослеживается сезонное промерзание почвенной толщи, которое варьирует от 2,2 до 3,2 м. Различаются и величины отрицательной температуры, особенно в верхней части почвенного профиля. Большую часть года температура всей почвенной толщи положительная. В пространстве она варьирует больше, чем отрицательная температура (рис. 2).

Следует отметить, что многолетние ряды температуры почвы на рассматриваемых метеостанциях, как правило, имеют синхронный ход. В период 1967–2000 гг. во все месяцы года наблюдается ее рост, но величины положительных трендов несколько различаются. Исключение составляет динамика температуры почвы на метеостанции Нижнеангарск, где для зимнего периода (декабрь–март) характерен незначительный отрицательный тренд. При этом повсеместно в этот же период наблюдается рост температуры воздуха. В отдельные месяцы положительный тренд температуры воздуха может быть как выше, так и ниже значений тренда температуры почвы.

Совершенно иной термический режим почвенно-грунтовой толщи в Верхнечарской котловине (см. рис. 2, м/ст. Чара). Здесь характерно весьма интенсивное охлаждение верхнего слоя и слияние сезонного промерзания с многолетней мерзлотой. Отрицательная температура отмечается большую часть года. Летом тепло проникает до глубины 1,6–1,8 м, причем температура 10 °С опускается только до 0,5 м. Следует отметить, что термический режим почвы на открытых участках и под лесом очень

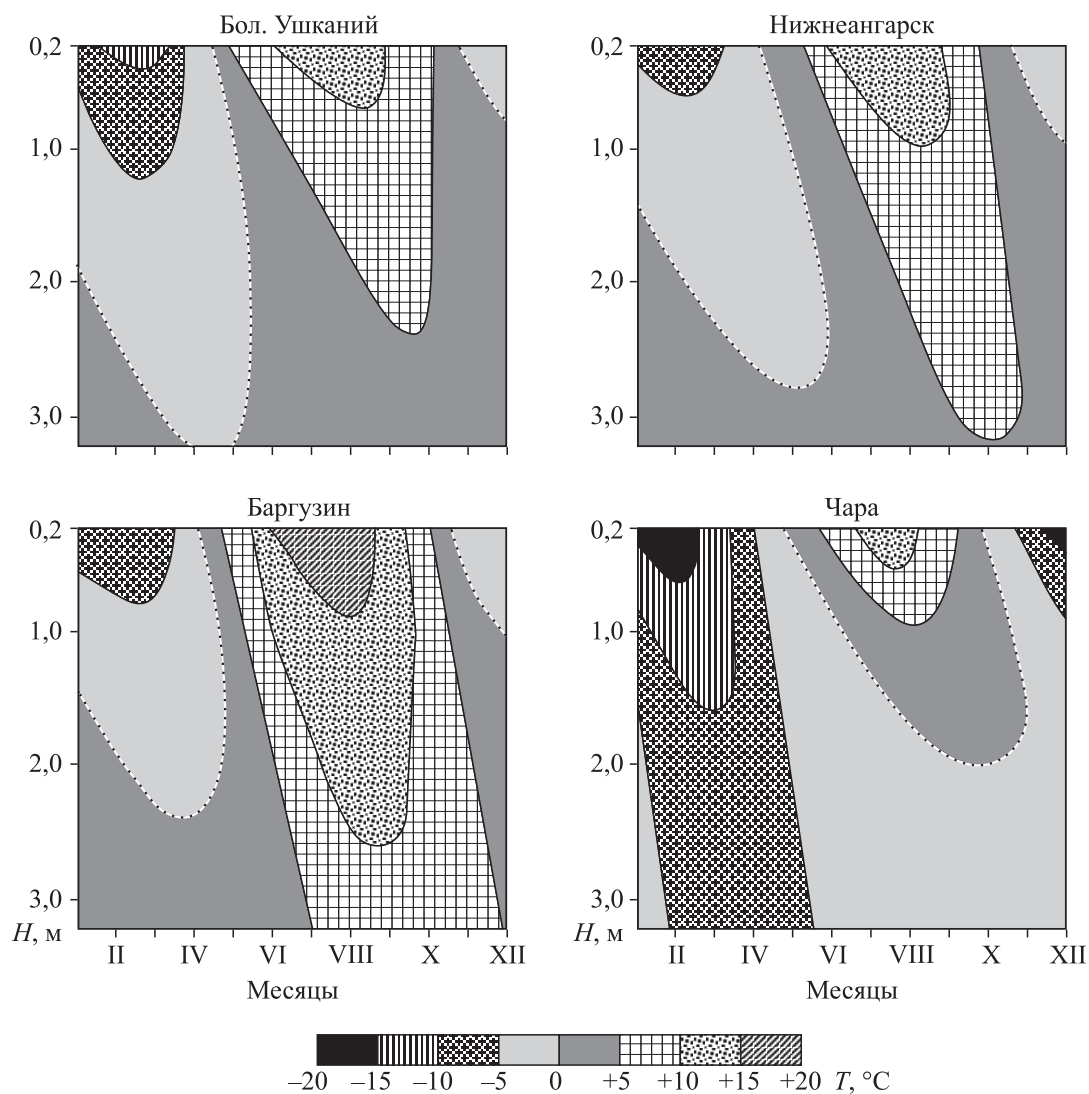


Рис. 2. Распределение температуры почвы по глубинам в разные месяцы года на метеостанциях.

сильно различается. Наиболее холодная почва — под лиственничным лесом, где она протаивает лишь до глубины 0,9 м к сентябрю. Это объясняется тем, что в Верхнечарской котловине огромное количество тепла расходуется на таяние замерзшей в почве воды, что и обуславливает слабое нагревание влагонасыщенных мерзлых почв, особенно под лиственничным лесом и на заболоченных участках [11].

К сожалению, режимные наблюдения за температурой воздуха и почвы в естественных природных условиях (лесные сообщества) проводятся лишь эпизодически. Поэтому для оценки отклика древесно-кольцевых хронологий на температуру почвы на глубине 0,8 м использовались древесные керны, взятые на указанных выше участках, и показатели температуры почвы на ближайших к ним метеостанциях.

Статистический анализ связей индексов прироста деревьев с температурой почвы проведен по известной методике оценки и интерпретации функций отклика, которые рассчитываются путем определения частных коэффициентов корреляции [13]. Функция отклика показала положительную связь прироста лиственницы и кедра с температурой почвы на глубине 0,8 м во все месяцы года (однако не во все месяцы связь значима и достоверна), наиболее тесная связь наблюдается в марте (коэффициенты корреляции 0,3–0,6) и июле–августе (0,3–0,7) (рис. 3).

Максимальный отклик в июле–августе сопряжен с оптимальным сочетанием тепла и влаги, которые накопились в почве за летний период. Достаточно тесная положительная связь показателей в марте не вполне ясна. Между тем повышенный отклик прироста на зимние температуры воздуха неоднократно фиксировался в пределах таежной зоны Европы [14]. Отмечено также, что и в Среднем Приангарье прирост годичных колец лиственницы в большей степени обусловлен именно зимними температурами воздуха [15]. Такой же эффект наблюдался в Приольхонье, где отмечалась заметная положительная корреляционная связь с температурами воздуха января–февраля [16].

Следует отметить, что коэффициент корреляции радиального прироста лиственницы, произрастающей в Приольхонье, и температуры почвы на метеостанции Узур (о. Ольхон) низкий в течение всего года (значим только в марте — 0,4). Причина в том, что для Приольхонья, в том числе и о. Ольхон, летом характерен теплый, но засушливый климат, зима холодная (умеренно холодная) и мало-снежная. Вся почвенная толща зимой интенсивно охлаждается, глубина сезонного промерзания —

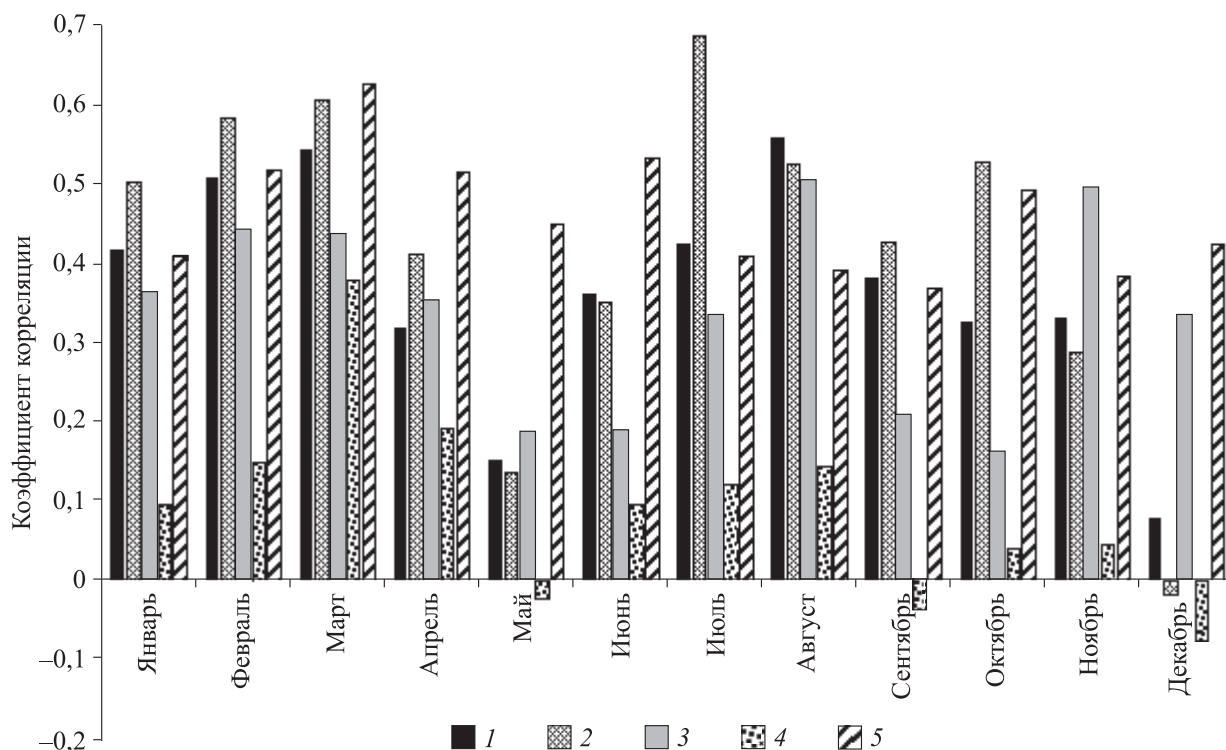


Рис. 3. Отклик индекса радиального прироста колец на среднемесячную температуру почвы на глубине 0,8 м различных метеостанций.

1 — м/ст. Нижнеангарск (Л6), 2 — Бол. Ушканий (Л6), 3 — Баргузин (К2), 4 — Узур (Л2), 5 — Чара (Л1).

2,5 м. Летом происходит ее интенсивное прогревание. Температура почвы в 10 °С достигает 1,5 м, температура 5 °С опускается глубже 3,2 м. Ранее отмечалось, что и температура воздуха не всегда относится к доминирующему фактору, определяющему прирост ширины годичных колец лиственницы. Более значима связь индекса прироста с атмосферными осадками сентября прошлого года и июля текущего года [15, 16].

Можно предположить, что влияние атмосферных осадков в Приольхонье на прирост годичных колец хвойных деревьев проявляется через увлажненность почвы, однако почвенная влага здесь в большом дефиците. Незначительный снежный покров, который к тому же в отдельных местоположениях сдувается ветром, ранней весной быстро исчезает. При этом происходит оттаивание и иссушение верхних горизонтов почвы, хотя в более глубоких слоях еще остается сезонная мерзлота. За счет ее таяния и пополняется почвенная влага, которая начинает резко уменьшаться с конца июня и до середины августа. В это время продукция и радиальный рост клеток ощущают недостаток влаги. Более точное объяснение этого процесса требует дополнительных физиологических исследований.

Летом климат в районе взятия древесных ядер лиственницы на п-ове Святой Нос — засушливый и умеренно холодный. Зима умеренно холодная и умеренно снежная. Почвенная толща на о. Бол. Ушканий, который расположен вблизи п-ова Святой Нос, зимой интенсивно охлаждается, сезонное промерзание глубокое. Температура почвы в 10 °С не проникает глубже 0,7 м (см. рис. 2, м/ст. Бол. Ушканий). Исходя из наибольшего коэффициента корреляции в годовом цикле в июле (0,7) между температурой почвы на метеостанции Бол. Ушканий и индексом прироста лиственницы (см. рис. 3), произрастающей на юго-западном побережье п-ова Святой Нос, методом линейной регрессии проведена ее реконструкция (рис. 4). Получено следующее уравнение регрессии: $y = 7,5 + 0,5x$, где y — температура почвы на метеостанции; x — индекс ШГК. Множественный коэффициент регрессии для данной модели составляет 0,6; коэффициент детерминации $R^2 = -0,36$; средняя ошибка аппроксимации — 7,5 %. Небольшая доля объясненной дисперсии вызвана тем, что на данной станции большое значение имеет температура воздуха, на которую приходится более 50 % дисперсии. Оценка статистической значимости уравнения регрессии по критерию Фишера показала его надежность на 95%-м уровне достоверности.

Установлено, что значения ширины годичных колец индицируют минимумы и максимумы в величинах температуры почвы, но при этом сглаживают их. За период с 1967 по 2000 г. по фактическому ряду температуры почвы линейный тренд равен 0,297 °С/10 лет, а по реконструированному ряду (1885–2006 гг.) — 0,158 °С/10 лет. Причем в обоих случаях величину тренда определяет наиболее интенсивное повышение температуры почвы в последнем десятилетии XX столетия.

Величина тренда в реконструированном ряду температуры почвы с 1885 по 2006 г. составляет всего лишь 0,006 °С/10 лет, а коэффициент корреляции между совпадающими участками рядов равен 0,6. Важно отметить, что в реконструированном ряду циклы повышений и понижений температур

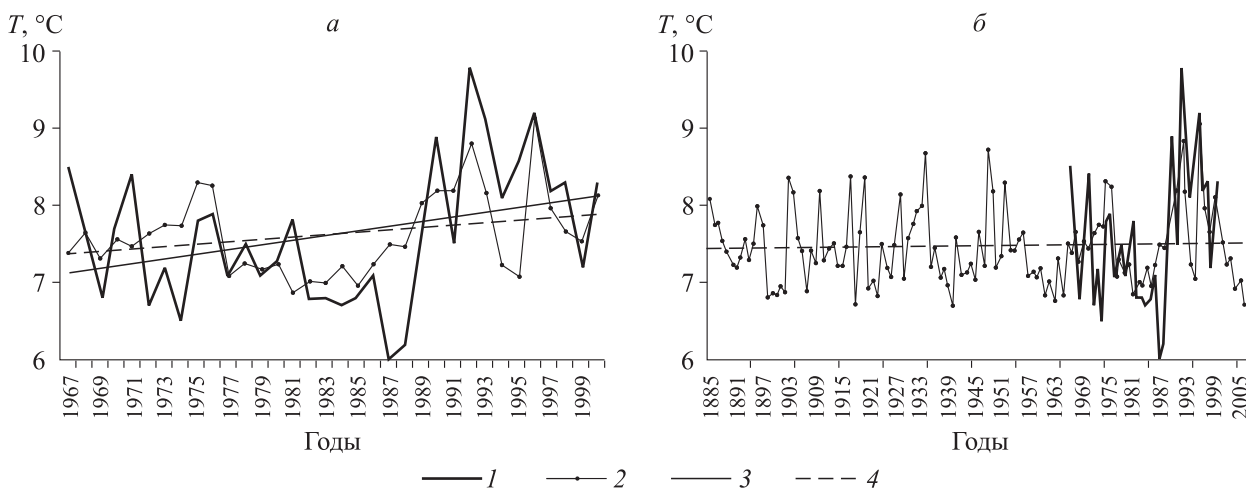


Рис. 4. Фактические (1) и реконструированные (2) значения температуры почвы июля на глубине 0,8 м (метеостанция Бол. Ушканий).

3 — тренд фактической, 4 — тренд реконструированной температур почвы; а — период с 1967 по 2000 г.; б — с 1885 по 2006 г.

почвы находятся в фиксированных пределах, т. е. структура циклических колебаний не претерпела существенных изменений. Исключение составляет последний цикл повышения температуры почвы, который в пределах фактического и реконструированного рядов несколько выше. Отмеченная ситуация может свидетельствовать об экстремальном проявлении потепления климата в этот период.

Максимальные значения функции отклика радиального прироста кедра, произрастающего на побережье озера в районе Чивыркуйского залива, на температуру почвы (метеостанция Баргузин) наблюдаются в ноябре, феврале, марте и августе (0,44–0,51) (см. рис. 3). Тренды фактического и реконструированного рядов температуры почвы положительные. Максимальные они в марте, июне (до 0,6 °C/10 лет), минимальные — в декабре (0,023 °C/10 лет).

Несколько иная динамика фактической температуры почвы в период с 1967 по 1998 г. в области распространения многолетней мерзлоты (метеостанция Чара). В марте, когда отмечена самая высокая связь прироста годичных колец лиственницы с температурой почвы (см. рис. 3), в многолетней динамике зафиксирован существенный рост температуры (рис. 5). Уравнение регрессии для реконструкции температуры почвы на метеостанции Чара выглядит следующим образом: $y = -13,8 + 5,93x$, где y — температура почвы на метеостанции; x — индекс ШГК. Множественный коэффициент регрессии для данной модели составляет 0,66; коэффициент детерминации $R^2 = 0,43$; средняя ошибка аппроксимации — 20 % (высокое значение ошибки, возможно, обусловлено существенными аномалиями температуры в отдельные годы, а также сложным механизмом отклика прироста древесных колец в условиях многолетней мерзлоты). Оценка статистической значимости уравнения регрессии по критерию Фишера показала его надежность на 95%-м уровне достоверности.

По фактическим данным (1967–1998 гг.), на ветви восходящего линейного тренда (2,55 °C/10 лет) последний цикл повышения температуры почвы в марте был наиболее интенсивным, что свидетельствует об устойчивой тенденции ее роста на этом временном отрезке. Реконструированные значения температуры почвы за 1967–1998 гг., как и на метеостанции Бол. Ушканий, сглаживают экстремумы, однако все же индицируют их, а тренд равен 1,73 °C/10 лет. Коэффициент корреляции между совпадающими участками ряда равен 0,66. Тренд реконструированного ряда температуры почвы с 1846 по 2006 г. составил 0,027 °C/10 лет.

Значения температуры почвы последнего цикла потепления существенно выходят за пределы повышений температуры в предыдущих циклах. Однако близкие по интенсивности потепления почвы были и в первом десятилетии 1900-х гг. Отличительной особенностью реконструированного ряда температуры на метеостанции Чара является наличие более продолжительных циклов ее повышения и понижения. К тому же перед последним циклом повышения температуры на метеостанции Чара наблюдалось длительное ее понижение.

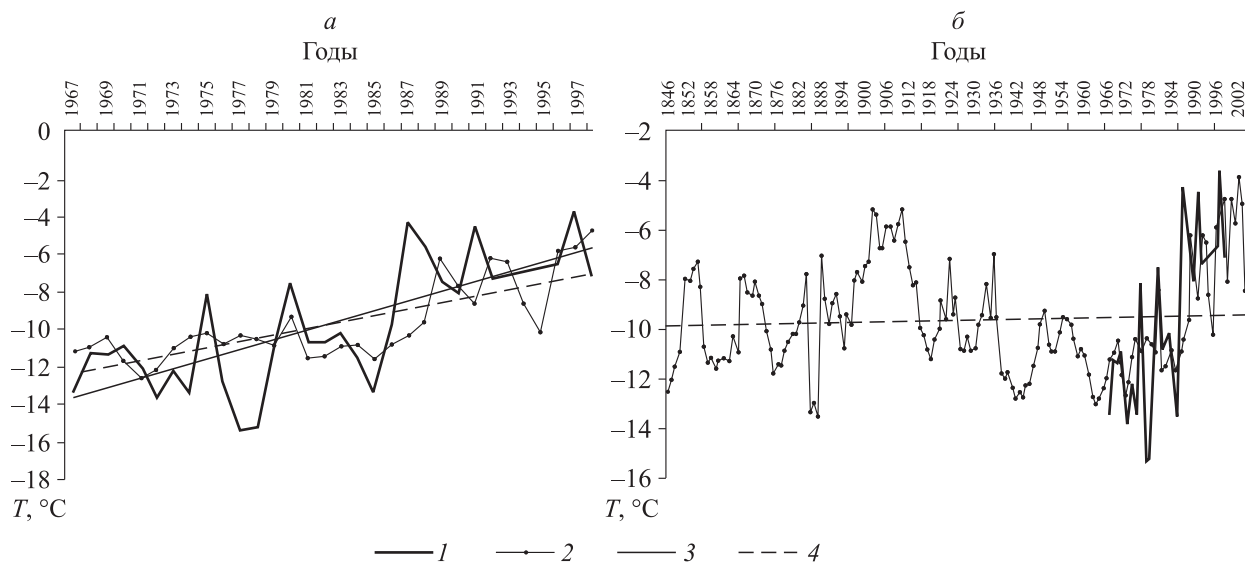


Рис. 5. Фактические (1) и реконструированные (2) значения температуры почвы марта на глубине 0,8 м (метеостанция Чара).

3 — тренд фактической, 4 — тренд реконструированной температур почвы; а — период с 1967 по 1998 г.; б — с 1846 по 2006 г.

Можно предположить, что при дальнейшем сохранении тенденции потепления климата температура почвы будет расти, а зона активной аккумуляции тепла расширится за счет смещения ее границы в более глубокие слои. Это может вызвать увеличение глубины летнего протаивания верхнего слоя многолетнемерзлых пород. Степень их деградации определяет возможные неблагоприятные последствия для природных и технических систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время связь динамики радиального прироста основных хвойных пород с климатическими факторами достаточно хорошо выявлена. Вместе с тем научные принципы оценки количественных зависимостей прироста древесных растений от температуры почвы практически не разработаны.

Изучение связей радиального прироста хвойных деревьев с температурой почвы связано с рядом трудностей, которые заключаются, во-первых, в выборе оптимальной глубины измерения температуры, которая в большей степени влияет на функционирование древостоев. Во-вторых, информация о многолетней динамике температуры почвы под лесом вообще отсутствует. Поэтому используются многолетние ряды, получаемые на близлежащих метеостанциях. Между тем межгодовые колебания температуры почвы под лесом могут быть не столь выражены, как на безлесных участках.

Настоящее исследование является начальным этапом в решении обсуждаемой проблемы. Полученные результаты, прежде всего реконструированные ряды температуры почвы, расширяют и обогащают информационную базу прогнозирования динамических преобразований природных систем в целом или их отдельных компонентов.

Многолетняя динамика температуры почвы в различных природно-климатических и геоэкологических условиях несколько различается. Лесные сообщества наиболее чувствительны к изменениям климата в Верхнечарской котловине. Здесь современное потепление климата и, соответственно, повышение температуры почвы определяют состояние многолетней мерзлоты, которая постепенно начнет деградировать, что существенно отразится на составе и структуре растительных сообществ и в целом на функционировании природных систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (12–05–00819; 12–04–98013-р_сибирь_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов А. В. Мониторинг криолитозоны. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. — 229 с.
2. Величко А. А. Современное глобальное потепление в ретроспективном аспекте // Изменения климата в XXI веке: современные тенденции, прогностические сценарии и оценки последствий. — СПб.: ИИНЕКО, 2005. — С. 18–19.
3. Bradley R. S. «Little Ice Age» summer temperature variations: Their nature and relevance to recent global warming trends // Holocene. — 1999. — N 3. — P. 367–376.
4. Клименко В. В. Изменение климата на западе европейской части России в позднем голоцене // Докл. Академии наук. — 2001. — Т. 376, № 5. — С. 678–683.
5. Битвинкас Т. Т. Дендроклиматические исследования. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 172 с.
6. Шиятов С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. — М.: Наука, 1986. — 137 с.
7. Ладейщиков Н. П. Особенности климата крупных озер (на примере Байкала). — М.: Наука, 1982. — 136 с.
8. Трофимова И. Е. Типизация и картографирование климатов Байкальской горно-котловинной системы // География и природ. ресурсы. — 2002. — № 2. — С. 53–61.
9. Трофимова И. Е. Современное состояние и тенденции многолетних изменений мерзлотно-термического режима почв Прибайкалья // География и природ. ресурсы. — 2006. — № 4. — С. 38–45.
10. Михеев В. С. Верхнечарская котловина. — Новосибирск: Наука, 1974. — 142 с.
11. Караушева А. И. Климат и микроклимат района Кодар—Чара—Удокан. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 128 с.
12. Ваганов Е. А. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. — Новосибирск: Наука, 1996. — 246 с.
13. Fritts H. C. Tree-ring and climate. — London; New-York; San Francisco: Acad. Press, 1976. — 567 p.
14. Zielski A. Wplyw temperatury I opadow na szerokosc sloyow rocznych drewna u sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. // Sylwan. — 1996. — N 2. — S. 71–80.
15. Бальбина А. С. Реконструкция колебаний климата в Предбайкалье дендрохронологическим методом // География и природ. ресурсы. — 2006. — № 4. — С. 126–129.
16. Осколков В. А., Воронин В. И. Экологические факторы, определяющие прирост сосны и лиственницы в Приольхонье // Сиб. экол. журн. — 2005. — № 4. — С. 717–730.

Поступила в редакцию 19 сентября 2012 г.