

В. А. КРАСНОБАЕВ, В. И. ВОРОНИН

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск

## АНОМАЛЬНЫЕ ОТТЕПЕЛИ КАК ОДНА ИЗ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЙ КРОНЫ МОЛОДЫХ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ

*В рамках экологического мониторинга в районе западной границы Байкальского государственного природного биосферного заповедника исследовалось воздействие аномальных оттепелей на хвойные деревья в холодное время года. Предполагается, что одной из причин повреждения хвои в Южном Прибайкалье являются участвовавшие аномальные оттепели. Приводятся характеристики оттепелей в холодные сезоны за период наблюдений с 2006 по 2010 г.*

Ключевые слова: аномальные оттепели, повреждение хвои, электропроводимость прикамбиального слоя деревьев, вегетационный период.

*Within the framework of an ecological monitoring in the area of the western boundary of the Baikal state natural biosphere reserve, the effect of anomalous thaws on coniferous trees during a cold season was investigated. It is suggested that one of the causes of damage to the needles in the Southern Baikal region involves the more frequent anomalous thaws. Characteristics of thaws in cold seasons are described for the observing period from 2006 to 2010.*

Keywords: anomalous thaws, damage to the needles, electrical conduction of precambial layer in trees, growing period.

К экологическим проблемам Байкальского региона относится и весеннее повреждение кроны молодых хвойных деревьев. До сих пор нет однозначного мнения о причине таких повреждений [1]. Одна из версий их возникновения — это изменение климатических условий, наблюдаемое в последние десятилетия и, безусловно, влияющее на состояние биоты в целом и ее отдельных компонентов.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экологический мониторинг организован на базе стационара СИФИБР СО РАН. Территория исследования — Южное Прибайкалье, северный склон хр. Хамар-Дабан, 600 м от уреза оз. Байкал; левый берег нижней поймы р. Выдриной; 51°29'11" с. ш., 104°50'54" в. д. Нами проводилось изучение физиологического состояния хвойных деревьев с использованием метода кондуктометрии. Метод основан на измерении электропроводности прикамбиального слоя (далее — проводимость). Один из аспектов таких исследований — изучение воздействия аномальных оттепелей на указанные породы деревьев.

Объектами наблюдений выбраны четыре вида лесобразующих древесных пород: сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Roi), пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.), ель голубая (*Picea obovata* var. *coerulea* Malysh.) и береза повислая (*Betula pendula* Koth.). В качестве контрольной породы выбрана береза. С потерей листвы осенью и до ее возобновления весной физиологическая активность березы, отслеживаемая по параметру проводимости, остается постоянно низкой, а после возобновления листвы вероятность воздействия низких температур очень мала. По нашему мнению, береза хорошо иллюстрирует свойства лиственных пород, приобретенные в ходе эволюции, «уходить во времени» от воздействия неблагоприятных факторов [2].

Возраст большинства исследованных деревьев 23–28 лет (пихта 18–25 лет). Почва на исследовательском полигоне — пойменного типа, свежая, супесчаная, мелкодисперсная. Проводимость прикамбиального слоя измерялась тестером типа Ц4342-М1 на шкале 100 кОм (напряжение электродов разомкнутой цепи = 3,4В), единица измерения — микросименс (мкСм). Электроды латунные, посеребренные, квадратного сечения 0,9 × 0,9 мм, острозаточенные. Длина электродов 7,5 мм, взаимопроекционная площадь при полном введении электродов в ствол дерева 6 мм<sup>2</sup>, расстояние между электродами при измерении (по вертикали) 2,5 см. Измерения проводились в нижней части ствола на высоте 1,2 м после 10–12-секундной выдержки с момента внедрения электродов в ствол для устранения влияния поляризационных эффектов [3].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В последние 10 лет в Южном Прибайкалье заметно участились случаи аномальных оттепелей. Так, в районе исследования за весь период наблюдений (2006–2010 гг.) аномальные оттепели случались в 2006, 2007, 2009 и 2010 гг. Поздней осенью и в период предвесенья оттепели могут длиться несколько дней. При этом в дневное время температура воздуха держится в пределах 1...–1 °С, а в ночные часы немного ниже нулевой отметки. На основе пятилетних наблюдений эмпирически установлено, что если после оттепели следуют дни, когда минимальная температура опускается ниже –12 °С, то это обстоятельство оказывается для деревьев весьма неблагоприятным. Учитывая, что деревья поздней

осенью и в период предвесенья находятся в разных стадиях покоя [4, 5], оттепель в эти периоды может стать серьезным стрессовым фактором. При этом наиболее опасны оттепели предвесенья, которые могут повлечь за собой заметные повреждения.

Негативные последствия оттепелей проявляются не сразу. Так, например, пожелтение хвои у пихты становится заметным через 12–14 дней. Может возникнуть вопрос: каким образом устанавливается связь между имевшей место оттепелью и возникшими после нее повреждениями у деревьев? При постоянном экологическом мониторинге в таких случаях помогают данные снегомерной съемки. Ранее нами отмечалось [6], что уровень пожелтения крон пихты обычно располагается выше линии снежного покрова. Высота снежного покрова на момент наступления оттепели четко маркирует нижнюю границу повреждения хвои, которое проявится позднее. Нижний уровень повреждения хвои нами отмечен на высоте 70 см от поверхности земли, что соответствовало высоте снежного покрова на дату наступления оттепели 26 марта 2010 г. Следует заметить, что в этот год высота снежного покрова в 70 см была максимальной за весь период устойчивого снежного покрова и установилась именно в конце марта.

В случае аномальных осенних оттепелей не удастся обнаружить явных признаков их негативного влияния, однако вполне возможно нарушение метаболизма, так как наступление достаточно продолжительного периода положительных температур после перехода древесных пород в состояние глубокого покоя неизбежно приводит к нарушению физиологических процессов и «раззакаливанию» деревьев.

Рассмотрим подробнее данные по проводимости прикамбиального слоя указанных древесных пород во время аномальных оттепелей.

Осенняя оттепель 2006 г. В начале ноября (09.11.2006) после нескольких дней с морозной погодой — в утренние часы температура воздуха опускалась до  $-17,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  — район исследования оказался в зоне действия подошедшего теплого фронта. С 13 по 18 ноября установилась теплая погода с небольшими осадками в виде дождя. Дневные температуры достигали  $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а ночные держались на уровне нулевой отметки. Температура почвы на глубине 15 см составляла  $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на глубине 25 см  $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  и на глубине 50 см  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Оттепель закончилась 19 ноября.

По данным измерений проводимости прикамбиального слоя все исследуемые деревья к началу этой оттепели находились в состоянии глубокого покоя. На это указывали очень низкие значения проводимости ( $<12\text{ мкСм}$ ), а также постепенное их снижение в предшествующий период оттепели.

Как было установлено ранее [7], величина проводимости в 14–23 мкСм соответствует физиологической активности древесных пород в период вегетации, а проводимость ниже 13 мкСм характерна для состояния глубокого покоя в осенне-зимний период или для предвесеннего вынужденного покоя. На основании этого можно заключить, что воздействие данной оттепели (период с 12 по 18 ноября) имело минимальное влияние на березу (контроль): на 18 ноября ее проводимость возросла с 0,5 до 10 мкСм. Небольшой сдвиг в метаболизме наблюдался у пихты, так как проводимость менялась с 3 до 14 мкСм, а более существенно она изменялась у кедра — с 1,5 до 15 мкСм. Наиболее острая реакция наблюдалась у ели, проводимость которой поднялась до уровня, соответствующего вегетационному периоду, т. е. до 20 мкСм.

*Зимняя оттепель 2007 г.* Оттепель наступила 2 февраля. Скачок температур в этот день был очень резкий: в период с 9 ч до 9 ч 40 мин. температура воздуха повысилась от  $-9,6$  до  $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В 12 ч температура равнялась  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура почвы в день наблюдений составляла: на глубине 15 см  $-3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на глубине 25 см  $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и на глубине 50 см  $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . День был солнечный безветренный.

Проводимость у всех исследуемых деревьев не достигала уровня 20 мкСм, соответствующего физиологической активности в вегетационный период. Для кедра и пихты характерен крутой подъем и два максимума в 14 и 17 ч, что соотносится с двухвершинной кривой дыхания хвойных [3]. У кедра значительный уровень проводимости (вплоть до 14 мкСм) сохранялся до 20 ч со спадом после 21 ч. В эти сроки температура воздуха была соответственно  $-8,7$  и  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У пихты проводимость достигла рубежного значения 13 мкСм. Для ели и березы характерен пологий подъем, а у березы наблюдается более ранний спад проводимости в вечерние часы.

Последствия этой оттепели внешне проявились только у пихты. Через две недели с южной стороны кроны у некоторых деревьев этого вида, растущих на открытых местах, отмечены так называемые «солнечные ожоги». При этом пожелтение хвои произошло на апикальной стороне ветвей.

*Весенняя оттепель 2009 г.* С 26 марта на протяжении трех суток температура воздуха в дневное время достигала  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в ночные часы она не опускалась ниже отметки  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Однако 30 марта в первой половине суток минимум температуры достиг значения  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура почвы в этот период была отрицательной и на глубине 15 см составляла  $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на глубине 25 см  $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на глубине 50 см  $-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , начался прогрев верхних слоев почвы. Отметим, что последствия этой оттепели стали особенно неблагоприятными для хвойных пород. Пожелтение хвои после оттепели замечены не только на склонах Хамар-Дабана, но и в горах Вост. Саяна на высотах до 1600 м над ур. моря. Наличие оттепели в указанном районе подтверждены данными метеостанции пос. Монды. Минимальное/максимальное значения температуры воздуха по датам изменялись следующим образом: 26 марта  $-11,1/3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 27 марта  $-5,6/6$ ; 28 марта  $-10,5/5,2$ ; 30 марта  $-15,0/4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В районе наших исследований повреждение хвои наблюдалось у ювенальных особей всех видов хвойных, включая ель, ее голубой подвид и сосну, которые, по нашим наблюдениям, более устойчи-

ла рубежного значения 13 мкСм. Для ели и березы характерен пологий подъем, а у березы наблюдается более ранний спад проводимости в вечерние часы.

Последствия этой оттепели внешне проявились только у пихты. Через две недели с южной стороны кроны у некоторых деревьев этого вида, растущих на открытых местах, отмечены так называемые «солнечные ожоги». При этом пожелтение хвои произошло на апикальной стороне ветвей.

*Весенняя оттепель 2009 г.* С 26 марта на протяжении трех суток температура воздуха в дневное время достигала 2 °С, а в ночные часы она не опускалась ниже отметки -3 °С. Однако 30 марта в первой половине суток минимум температуры достиг значения -15 °С. Температура почвы в этот период была отрицательной и на глубине 15 см составляла -1,6 °С, на глубине 25 см -1,9 °С, на глубине 50 см -1,7 °С, начался прогрев верхних слоев почвы. Отметим, что последствия этой оттепели стали особенно неблагоприятными для хвойных пород. Пожелтение хвои после оттепели замечены не только на склонах Хамар-Дабана, но и в горах Вост. Саяна на высотах до 1600 м над ур. моря. Наличие оттепели в указанном районе подтверждены данными метеостанции пос. Монды. Минимальное/максимальное значения температур воздуха по датам изменялись следующим образом: 26 марта -11,1/3 °С; 27 марта -5,6/6; 28 марта -10,5/5,2; 30 марта -15,0/4,2 °С.

В районе наших исследований повреждение хвои наблюдалось у ювенальных особей всех видов хвойных, включая ель, ее голубой подвид и сосну, которые, по нашим наблюдениям, более устойчивы к повреждениям такого рода. В основном повреждения отмечались у особей, произрастающих на достаточно освещенных местах, в лесу среди древостоя повреждения встречались редко.

*Весенняя оттепель 2010 г.* Кратковременная оттепель наступила 26 марта. 27 марта дневная температура воздуха достигла максимума 3,1 °С, на следующий день она опустилась до 0,3 °С. Минимальная температура 30 марта равнялась -14,3 °С. Температура почвы на глубине 15 см составляла -3,6 °С, на глубине 25 см -3,5 °С и на глубине 50 см -2,5 °С. Незначительные повреждения отмечены в основном у пихты, слабые — у кедра. Проводимость наблюдаемых пород в 15 ч равнялась у ели 15,6 мкСм; пихты 11,6; кедра 11,6; березы 8,3 мкСм.

Измеряя проводимость деревьев в момент аномальных оттепелей, можно прогнозировать вероятность последующих повреждений. Для оценки связи величин проводимости в момент оттепелей и повреждений после них желательно оперировать не абсолютными значениями измеренной проводимости, а ее нормированными величинами, которые не зависят от параметров измерения. Для этих целей лучше всего использовать некую величину, присущую всем породам.

В наших многолетних экспериментах установлено, что таким требованиям отвечает значение средней проводимости за период максимальной физиологической активности деревьев, приходящейся на летний сезон (июнь—начало августа). В это время проводимость у всех выбранных для измерения пород деревьев максимальная и мало зависит от внешних факторов, что обусловлено активностью гомеостатического механизма. Средние значения летней проводимости  $C_{л.ср}$  у исследуемых пород составили: кедр 23,8 мкСм; пихта 24,1; ель 27,2; береза 237 мкСм (возрастная группа 26–28 лет).

Относительная проводимость вычисляется по формуле  $C_{отн} = C_{изм}/C_{л.ср}$ . В ходе исследований выяснилось, что нижний предел относительной проводимости  $C_{отн.мин}$ , соответствующей физиологической активности в вегетационный период, для всех исследуемых пород равен 2/3 от средних значений проводимости в период максимальной летней физиологической активности (67 %  $C_{л.ср}$ ). Умножив величину  $C_{л.ср}$  каждой породы на множитель 0,67, легко получить значения нижних пределов, выраженных в абсолютных величинах проводимости  $C_{мин}$ : для кедра — 15 мкСм; пихты — 14; ели — 18;

березы — 16 мкСм. Сравнив измененные значения проводимости в момент оттепели со значениями  $C_{мин}$ , можно строить предположения о возможных повреждениях.

У ювенальных особей хвойных пород, по сравнению с приведенной возрастной группой, значения проводимости приблизительно на 10–15 % ниже. Следовательно, если величины проводимости во время аномальных оттепелей приближаются к значениям, соответствующим нижнему порогу физиологической активности в вегетационный период ( $\approx 67$  % от  $C_{л.ср}$ ), и если после оттепели последует понижение температуры воздуха до -12 °С и ниже, то в течение двух недель можно ожидать повреждения хвои.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Осенние и весенние оттепели как стрессовые факторы воздействуют на исследуемые породы неравнозначно. Осенью их влияние может сказываться лишь при достаточной длительности теплой погоды и только на метаболическом уровне, а внешне видимым образом оно не проявляется. Например, воздействие аномальной оттепели в ноябре 2006 г. сказалось лишь на ели. Уровень проводимости у этой породы в данном случае достигал значений, характерных для физиологической активности в вегетационный период. Неблагоприятными при такой оттепели могут быть изливший и непроизводительный расход запасенных веществ, а также некоторые нарушения в фазах глубокого покоя (раз-закаливание). Для кедра ситуация кажется менее драматичной, так как уровень метаболической активности, отслеживаемый параметрами проводимости прикамбиального слоя, соответствует нижней границе значений, характерных для физиологической активности в вегетационный период. Что касается пихты и березы, то при тех же условиях их реакция на воздействие оттепели минимальна, особенно у березы. Можно предположить, что они остаются в состоянии глубокого покоя.

Воздействие весенних оттепелей в качестве неблагоприятных и стрессовых факторов для хвойных пород более существенно. Оно происходит на метаболическом уровне и проявляется в виде повреждения хвои. Причиной для возникновения таких событий служит чередование относительно высоких температур воздуха (около 0 °С и выше) и температур ниже –12 °С. В период весенних оттепелей наиболее чувствительной породой в районе исследований является пихта, а при длительных оттепелях и все остальные хвойные породы.

В отношении зимних оттепелей можно заключить, что даже при ее небольшой продолжительности (февральская оттепель 2007 г.) у кедра и пихты отмечается существенный сдвиг в уровнях их метаболизма, отслеживаемый измеряемым параметром проводимости. Это может быть связано с тем, что хвоя этих пород имеет более тонкий слой кутикулы, чем хвоя ели и сосны. Кутикула, покрывающая хвою, выполняет защитную функцию по отношению к неблагоприятным факторам внешней среды [6]. Ранняя оттепель воздействует на кедр и пихту через прогрев хвои, не соответствующий сезону. При этом пихта проявляет наибольшую чувствительность, что сказывается в повреждении ее хвои и чего не наблюдается у кедра.

Таким образом, когда проводимость во время аномальных оттепелей поднимается до нижнего порога значений вегетационного периода ( $\approx 67\% C_{л.ср}$ ) и затем следует понижение температуры воздуха до –12 °С и ниже, то в течение двух недель можно ожидать повреждения хвои. Конечно, указанные величины носят эмпирический характер, и данная тема требует дальнейших исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плешанов А. С., Морозова Т. И. Микромисцеты пихты сибирской и атмосферное загрязнение лесов. — Новосибирск: Гео, 2009. — 115 с.
2. Кузнецов В. В., Дмитриева Г. А. Физиология растений. — М.: Высш. шк., 2005. — 664 с.
3. Краснобаев В. А., Воронин В. И. Исследование метода кондуктометрии для оценки сезонных изменений физиологического состояния древесных растений // Инженерная экология. — 2009. — № 6. — С. 53–61.
4. Судачкова Н. Е. Метаболизм хвойных и формирование древесины. — Новосибирск: Наука, 1977. — 229 с.
5. Сергеев Л. И. Биологические ритмы и зимостойкость древесных растений // Физиология и биохимия зимостойкости древесных растений. — Уфа: Изд-во Ин-та биологии Башкир. филиала АН СССР, 1974. — С. 9.
6. Воронин В. И. Дендроиндикация в системе мониторинга лесов, подверженных воздействию промышленных эмиссий // Лесопатологические исследования в Прибайкалье. — Иркутск: Изд-во Сиб. ин-та физиологии и биохимии растений СО АН СССР, 1989. — С. 24–33.
7. Краснобаев В. А. Оценка пригодности метода кондуктометрии для экологического мониторинга // Новые методы в дендрэкологии: Материалы Всерос. науч. конференции с международным участием. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. — С. 104–107.

*Поступила в редакцию 15 октября 2010 г.*