

УДК 633.877; 553.982.2; 574.24

*Н.В. Кокорина, П.Б. Татаринцев, А.М. Касаткин*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДЕНДРОХРОНОИНДИКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЖИГАНИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА НА ХВОЙНЫЕ ПОРОДЫ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Для изучения влияния сжигания попутного нефтяного газа на радиальный прирост хвойных пород деревьев в условиях средней тайги были применены методы дендрохроноиндикации. Оценивались корреляционные связи климатических условий и годового прироста сосны кедровой сибирской и ели сибирской, произрастающих на территории Приобского нефтяного месторождения. Древесные керны отбирались на различных расстояниях от факельной установки с учетом розы ветров. Была обнаружена синхронная реакция обеих хвойных пород на антропогенное воздействие в виде возникновения отрицательной корреляционной связи между температурами окончания вегетационного периода и шириной годичного кольца. Колебания температуры в период вегетации имеют второстепенное значение и действуют косвенно, способствуя росту испарения и потерь на дыхание, в условиях повышенной антропогенной нагрузки они оказывают выраженное воздействие на радиальный прирост деревьев.

*Ключевые слова:* сжигание нефтяного газа, дендрохроноиндикация, дендрохронология, хвойные породы, средняя тайга.

На рост древесных растений Западной Сибири значительное влияние оказывают техногенные факторы, связанные с освоением нефтяных и газоконденсатных месторождений. Воздействие нефтедобычи на лесные насаждения не ограничивается разливами нефти, интенсивное химическое и термическое воздействие на почвы и растительность оказывает процесс сжигания попутного нефтяного газа, который выделяется при эксплуатации нефтяных залежей. Воздействие факелов не сводится только к загрязнению атмосферного воздуха продуктами неполного сгорания попутного газа, оно включает изменение теплового режима прилегающих территорий, увеличение опасности возникновения пожаров, дигрессию лесных насаждений [1]. Тепловое излучение в наибольшей степени проявляется в непосредственной близости от установки по сжиганию попутного газа, хотя многие исследователи утверждают, что влияние факелов проявляется на десятки километров.

Реакция деревьев, формирующаяся под влиянием эндо- и экзогенных факторов, неоднозначна: разные по природе воздействия могут выражаться сходными отклонениями в росте. Определить воздействие нефтегазодобычи на лесные насаждения можно методами дендроиндикации, поскольку древесно-кольцевые хронологии позволяют количественно оценить реакцию растений на изменения комплекса факторов, в котором можно выявить антропогенную составляющую. Дендрохронологический анализ – один из немногих методов, позволяющий изучать продолжительность и периодичность возникновения и кратковременных, и длительных состояний древесной растительности, поэтому его можно рассматривать как часть мониторинга окружающей среды.

Целью работы является выявление закономерностей радиального прироста ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica* DuRoi), произрастающих на территории Среднего Приобья в условиях антропогенного загрязнения, в качестве источника которого рассматривается установка по сжиганию попутного нефтяного газа.

Территория исследования относится к Салым-Юганскому округу среднетаежной подзоны, где выделяется два типа лесов с преобладанием сосны сибирской и один тип с преобладанием ели сибирской [2]. Древесный ярус в распространенных на данной территории кедровых зеленомошно-мелкотравных лесах с примесью ели, пихты и березы, как правило, хорошо развит, сомкнутость крон составляет от 0,4 до 0,7, высота – 20–22 м, диаметр стволов – 20–28 см.

Климат территории исследования умеренно континентальный, с суровой продолжительной зимой, коротким летом и частой сменой погодных условий, сложившийся под воздействием преобладающего западного переноса воздушных масс, низинного характера местности, покрытой большим количеством болот и водоемов [3]. Средняя годовая температура воздуха -1,1 °С, среднемноголетняя сумма осадков 553 мм. Распределение осадков по сезонам года неравномерное: на вегетационный период (с мая по сентябрь) приходится до двух третей осадков годовой суммы, максимальное их количество выпадает в июле и августе.

## Материалы и методы исследования

На территории Приобского месторождения нефти компании ООО «РН-Юганскнефтегаз», находящегося на левом берегу р. Обь в 60 километрах от г. Ханты-Мансийска, в 2008–2010 гг. были отобраны древесные керны с 10–15 деревьев ели и сосны кедровой с участков, расположенных на разных расстояниях от стационарного источника загрязнения (факельной установки) по трансекте на восток и на юг в зависимости от направления преобладающих ветров.

В ходе отбора проб нами была использована общепринятая методика [4]. Для измерения ширины колец использовалась полуавтоматическая установка LINTAB V. Перекрестная датировка хронологий выполнялась с использованием компьютерной программы COFESHA из пакета программ DPL. Для исключения влияния индивидуальной изменчивости использовались обобщенные дендрохронологические ряды, построенные на основе усредненных данных по участкам отбора проб. Кратковременные колебания ширины годичных колец, определяемые погодными условиями, выделялись с помощью индексирования в компьютерной программе TSAPWin для анализа дендрохронологических рядов. Предварительное детрендрование обеспечивалось расчетом скользящей 5-летней средней.

Коэффициенты корреляции между индивидуальными сериями на уровне 0,53–0,67 свидетельствуют о синхронности ответов отдельных деревьев на изменения условий окружающей среды. Надежность годичного кольца как индикатора внешних условий определяется выраженностью ежегодных изменений его ширины, описываемой коэффициентом чувствительности, равным или превышающим 0,3. Рассчитанные нами значения коэффициентов чувствительности древесно-кольцевых серий варьировали от 0,11 до 0,23. Достичь требуемого уровня чувствительности позволило индексирование дендрохронологий. Данная процедура, кроме того, значительно снизила коэффициенты автокорреляции первого порядка – с 0,74 для исходных серий до 0,08 для индексированных. Таким образом, полученные индексированные обобщенные по участкам древесно-кольцевые хронологии кедра и ели можно отнести к высокочувствительным, т.е. содержащим выраженный климатический сигнал.

Реакция древесных растений на климатические факторы исследовалась посредством корреляционного анализа и путем построения регрессионной модели методом последовательного включения переменных. В качестве независимых переменных этой модели использовались значения среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков текущего года роста древесного кольца и года, предшествующего приросту, когда идет накопление запасных веществ. Ряды метеоданных, начиная с 1932 г., получены на метеостанции Ханты-Мансийск.

## Результаты и их обсуждение

Известно, что зависимость радиального прироста от климатических факторов особенно выражена на границе природных зон [4], то есть для дендроклиматического анализа предпочтительно отбирать образцы с деревьев, у которых величина годичного прироста лимитируется каким-либо одним внешним фактором. В условиях средней тайги в доминирующем зональном типе растительности (темнохвойных зеленомошных лесах, где нами проводился отбор древесных кернов), выявленный климатический сигнал, отраженный в радиальном приросте, слабый. Полученные значения коэффициентов детерминации крайне низки:  $R^2=0,22$  и  $R^2=0,29$  для ели и кедра соответственно. Уравнение множественной линейной регрессии для ели имеет следующий вид:  $y = -8,87 + 0,094 P_9 + 0,041 P_8$ ; для кедра:  $y = -27,33 + 0,07 P_9 + 1,12 t_8 - 0,86 t_3 - 0,46 T_{12} + 0,68 T_3 + 0,12 p_{10}$ , где  $P_9$  – осадки сентября текущего года,  $p_{10}$  – осадки октября прошлого года,  $T_{12}$  – среднемесячная температура декабря текущего года,  $t_3$  – среднемесячная температура марта прошлого года ( $p < 0,01$  по критерию Фишера).

Согласно построенной регрессионной модели наивысший индивидуальный вклад переменных при фиксированных значениях остальных в изменчивость прироста годового кольца кедра характерен для весенних температур предшествующего года – марта (9,51 %) и мая (7,62 %), а изменчивость прироста ели в большей степени определяется осадками сентября и августа текущего года: 14,40 и 6,25 % соответственно.

Исследования на территории Среднего Приобья [5] выявили заметное локальное климатическое воздействие факельных установок, возникающее в виде аномалий в метеорологическом режиме. Горящий факел способствует усилению конвективных токов, в результате чего над ним на высоте 200–300 м в два раза чаще образуются облака кучевых форм, снижается интенсивность солнечной радиации, увеличивается число случаев выпадения дождя, повторяемость туманов и частота гроз.

Для изучения влияния факельного хозяйства на прилегающие лесонасаждения обобщенные ряды дендрохронологий были разделены на три 15-летних периода: 1992–2006 гг. (период с момента запуска установки по сжиганию попутного нефтяного газа), 1977–1991 гг., 1962–1976 гг. Функция отклика оценивалась путем расчета коэффициентов корреляции с метеопараметрами.

Приведенные в таблице коэффициенты корреляции температур воздуха августа-сентября текущего года и радиального роста деревьев, рассчитанные для периодов, предшествующих началу нефтесбора на изучаемой территории, низки и в основном статистически незначимы.

**Коэффициенты корреляции среднемесячной температуры воздуха и индексов радиального прироста ели сибирской (Е) и сосны сибирской кедровой (К) (\* $p < 0,05$ )**

Расстояние от стационарного источника загрязнения	Порода	1962-1976 г.г.		1977-1991 г.г.		1992-2006 г.г.	
		август	сентябрь	август	сентябрь	август	сентябрь
Южное направление							
0,4 км	Е	0,01	-0,61*	-0,30	0,13	-0,59*	-0,61*
	К	0,32	-0,34	-0,28	-0,03	-0,67*	-0,57*
1,5 км	Е	0,19	-0,39	-0,38	0,26	-0,56*	-0,61*
	К	0,20	-0,37	-0,13	0,02	-0,55*	-0,51
4 км	Е	0,43	-0,65*	-0,24	-0,34	-0,60*	-0,81*
	К	0,62*	-0,32	-0,01	-0,23	-0,59*	-0,63*
8 км	Е	0,16	-0,48	0,23	0,21	0,30	0,59*
	К	0,25	-0,30	-0,19	0,23	0,29	0,65*
Восточное направление							
0,7 км	Е	0,34	-0,73*	-0,54*	0,09	-0,52	-0,77*
	К	0,36	-0,30	-0,14	-0,17	-0,63*	-0,59*
2 км	Е	-0,07	-0,55*	-0,36	0,35	-0,58*	-0,72*
	К	0,45	0,04	-0,12	-0,01	-0,67*	-0,66*
5,5 км	Е	0,07	-0,26	0,25	-0,18	0,20	0,20
	К	0,04	0,01	-0,19	0,39	0,02	-0,38
6,5 км	Е	0,15	-0,37	0,50	-0,12	0,27	0,26
	К	0,36	-0,46	-0,18	-0,07	0,26	0,36
10 км	Е	-0,12	-0,21	0,35	0,06	0,33	0,03
	К	0,33	-0,35	0,05	0,32	0,17	0,51

Особенности климатической реакции деревьев на фоне действия возмущающего фактора нашли выражение в усилении тесноты связи со среднемесячными температурами окончания вегетационного периода (август–сентябрь) текущего года роста: влияние повышенных температур воздуха возросло на участках, находящихся на близком расстоянии (в пределах 4–8 км) от факельной установки.

Полученные ранее данные корреляционного анализа метеопараметров и дендрохронологических рядов, на которых не выделялись временные участки с различным уровнем антропогенного воздействия, свидетельствуют об отсутствии жестко лимитирующих прирост климатических факторов. Температурный режим исследуемого района в том числе не выступает таковым. Связей прироста годовых колец деревьев с годовой суммой эффективных температур (выше +10 °С) и количеством дней в году с эффективными температурами также не выявлено. Ширина годового кольца как у кедров, так и у ели отчасти ограничивается неблагоприятным распределением осадков во времени, а именно недостаточным их обилием в сентябре. Корреляционный анализ зависимости между суммой осадков сентября текущего года и индексами прироста показал для ели сибирской средней силы прямую связь:  $r = 0,42$  ( $p < 0,05$ ). Поверхностная корневая система ели не позволяет полноценно использовать влагу глубоких горизонтов, что при недостатке осадков и высокой температуре приводит к дефициту влагообеспеченности ростовых процессов. Для кедров данная зависимость слабее:  $r = 0,32$  ( $p < 0,05$ ) – в силу того, что кедр сибирский развивает мощный главный корень (позднее отмирающий) с крепкими широко распростертыми боковыми корнями и в принципе для успешного его роста большее значение имеют почвенные, а не климатические условия [6].

Разные виды деревьев в сходных экологических условиях реагируют на климатический сигнал видоспецифично [7], что иллюстрируется рисунком, отображающим низкий уровень сходства изменчивости радиального роста древесных пород в пределах одних и тех же местообитаний.

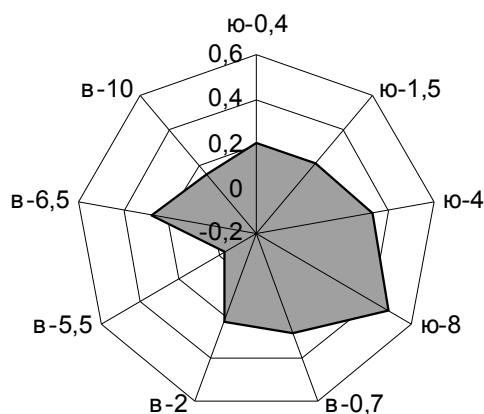


Рис. Коэффициенты корреляции обобщенных дендрохронологий ели сибирской и сосны сибирской, произрастающих на одном участке (ю-0,4 – 0,4 км от стационарного источника загрязнения в южном направлении; в-0,7 – в восточном)

Однако в радиусе воздействия факельных установок реакция разных видов хвойных на воздействие мощного внешнего фактора начинает совпадать. При техногенном воздействии выявляется синхронная реакция разных видов организмов на появляющееся крайнее напряжение внешних факторов, в данном случае в виде подавления радиального роста древесных растений высокими температурами августа–сентября, возникающего, возможно, за счет косвенного влияния иссушения почвы.

В остальные месяцы года выраженной реакции на температурный режим не наблюдалось, поскольку значимость того или иного климатического фактора меняется в течение периода вегетации. Например, если начало весеннего роста камбия контролируется суммой температур, то длительность дифференциации клеток и время остановки прироста в середине лета зависят от условий водного режима [8].

Повышенные по сравнению с нормой значения температуры могут оказывать как отрицательный, так и положительный эффект на рост колец, в зависимости от того, какие физиологические процессы преобладают в данный момент, например, возможно стимулирование роста корней и усиление потребления влаги почвы или увеличение роста листьев. Повышение активности фотосинтеза наблюдается в ответ на ту температуру, к которой фотосинтетический аппарат в большей степени адаптирован в данный период вегетации. Дальнейший температурный рост приводит к возникновению состояния водного стресса, поскольку усиливает транспирацию и снижает уровень фотосинтеза [9], таким образом, высокая температура не напрямую определяет камбиальную активность, ее влияние опосредуется созданием условий водного стресса, лимитирующего деление клеток и их рост, результатом чего является уменьшение размеров клеток и снижение толщины клеточных стенок. В целом водный стресс определяется водным балансом, который зависит от многих факторов, кроме температуры (уровня осадков, влажности почвы, скорости ветра, освещенности) и формируется при изменении эффективности поглощения корнями влаги и интенсивности транспирации [10]. И если в начале сезона роста повышение температуры оказывает благотворное воздействие, то в поздний период оно является фактором возникновения водного стресса и угнетения ростовых процессов, что иллюстрируется отрицательными значениями коэффициентов корреляции, приведенными в таблице.

Изменение темпов радиального и объемного прироста древостоев снижает их продуктивность [4], и, вероятнее всего, техногенное воздействие оказывает непосредственное влияние на один из важнейших показателей качества древесины – ее плотность, которой определяются физико-механические свойства древесного сырья. Это происходит потому, что максимальная плотность древесины в годовых кольцах ели соотносится с самыми поздними клетками кольца [11], а именно, климатические условия сентября определяют сроки окончания сезона роста и продолжительность процесса утолщения клеточной стенки.

## Заключение

С помощью дендрохроноиндикационного метода была сделана попытка оценки воздействия объектов нефтегазового комплекса на состояние темнохвойных пород деревьев в условиях Среднего Приобья. Наблюдались синхронные изменения климатического сигнала в изменчивости радиального прироста деревьев разных пород под воздействием техногенной нагрузки: в годы интенсивного ос-

воения исследуемой территории нефтедобывающей компанией сформировалась единая для ели и кедра отрицательная реакция на повышение температуры воздуха в конце вегетационного периода. И несмотря на то, что колебания температуры в период вегетации имеют второстепенное значение и действуют косвенно, способствуя росту испарения и потерь на дыхание, в условиях повышенной антропогенной нагрузки они оказывают выраженное воздействие на радиальный прирост деревьев.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крючков К.В. Влияние факелов по сжиганию попутного газа на лесные насаждения: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2000. 22 с.
2. Бех И.А. Кедровники Южного Приобья. Новосибирск: Наука, 1974. 212 с.
3. Булатов В.И., Берегова И.В., Игенбаева Н.О., Кусковский В.С., Трясцын В.Г. Физико-географические особенности Ханты-Мансийска // География и экология города Ханты-Мансийска и его природного окружения. Ханты-Мансийск: Изд. ОАО «Информационно-издательский центр», 2007. 115 с.
4. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепя В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учебно-метод. пособ. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
5. Гашев С.Н., Казанцева М.Н., Соромотин А.В., Рыбин А.В. Влияние факелов на биогеоценозы Среднего Приобья // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1994. Т. 99, вып. 1. 76 с.
6. Громадин А.В., Матюхин Д.Л. Дендрология. М.: ИЦ «Академия», 2006. 360 с.
7. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2001. 232 с.
8. Gruber A., Strobl S., Veit B., Oberhuber W. Impact of drought on the temporal dynamics of wood formation *Pinus sylvestris* // *Tree Physiology*. 2010. Vol. 30, No. 4. P. 490-501.
9. Суворова Г.Г., Янькова Л.С., Копытова Л.Д., Филиппова А.К. Максимальная интенсивность фотосинтеза сосны обыкновенной и ели сибирской в Предбайкалье // Сибирский экологический журн. 2005. № 1. С. 97-108.
10. Fritts H.C. *Tree rings and climate*. Caldwell, New Jersey: The Blackburn press, 2001. 567 p.
11. Ваганов Е.А., Скомаркова М.В., Шульце Э.-Д., Линке П. Влияние климатических факторов на прирост и плотность древесины годичных колец ели и сосны в горах северной Италии // Лесоведение. 2007. № 2. С. 37-44.

Поступила в редакцию 12.01.15

*N.V. Kokorina, P.B. Tatarintsev, A.M. Kasatkin*

**APPLICATION OF DENDROCHRONOINDICATION METHODS TO ESTIMATE THE INFLUENCE OF ASSOCIATED GAS BURNING ON CONIFEROUS SPECIES IN WEST-SIBERIAN MIDDLE TAIGA**

Dendrochronological methods were employed to determine the influence of burning the associated gas on the radial growth of conifers in West-Siberian middle taiga. The correlation between climatic conditions and tree-rings of Siberian cedar pine and spruce was estimated for the area of Priobskoye oil field. Sampling was made on sites which are on different distances from gas torches according to wind-rose. There was synchronized transformation of regional climatic responses of cedar trees under the influence of anthropogenic impact. The correlation index between their tree-rings chronologies and temperatures in the end of vegetation period was negative. Temperature fluctuations during the vegetation period are of secondary importance and act indirectly increasing evaporation and breathing losses; at high anthropogenic load they have a pronounced effect on radial growth of trees.

*Keywords:* burning oil gas, dendrochronoindication, tree-rings chronologies, conifers, middle taiga.

Кокорина Наталья Васильевна,  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры экологии и природопользования  
E-mail: N\_Kokorina@ugrasu.ru

Татаринцев Павел Борисович,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
высшей математики  
E-mail: pbt@ugrasu.ru

Касаткин Алексей Михайлович,  
заведующий лабораторией экологии  
E-mail: A\_Kasatkin@ugrasu.ru

ФГБОУ ВПО «Югорский государственный университет»  
628011, Россия, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Kokorina N.V.,  
Candidate of Agriculture, Associate Professor  
at Department of Ecology and nature management  
E-mail: N\_Kokorina@ugrasu.ru

Tatarintsev P.B.,  
Candidate of Engineering Science, Associate Professor  
at Department of Higher Mathematics  
E-mail: pbt@ugrasu.ru

Kasatkin A.M.,  
Head of Laboratory of Ecology  
E-mail: A\_Kasatkin@ugrasu.ru

Yugra State University  
Chehova st., 16, Khanty-Mansiysk, Russia, 628011