



УДК 630\*450:630\*453.787

## Потенциальные изменения прироста сосновых насаждений в зоне аварии на Чернобыльской АЭС под воздействием потепления климата

© А.А. Белов

---

### **Potential changes of the annual growth of pine stands in Chernobyl disaster zone at the influence of climate warming**

**A.A. Belov** (Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry)

The influence of meteorological factors at the annual radial growth of the pine trees in Bryansk region is analyzed. The multiple regression models of modifying growth in dependence on oscillations of the mean air temperature are developed. The forecast of the potential influence of climate warming at the annual radial growth of the pine trees is made.

**Key words:** climate warming, pine stands, annual radial growth, mean air temperature, regression model

### **Потенциальные изменения прироста сосновых насаждений в зоне аварии на Чернобыльской АЭС под воздействием потепления климата**

**А.А. Белов**

Рассмотрено влияние метеорологических факторов на радиальный прирост деревьев сосны в Брянской области. Разработаны множественно-регрессионные модели изменений прироста при колебаниях средней температуры воздуха. Сделан прогноз возможного влияния потепления климата на текущий радиальный прирост сосновых насаждений.

**Ключевые слова:** потепление климата, сосновые насаждения, радиальный прирост, средняя температура воздуха, регрессионная модель

ФБУ «Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства»

Адрес: 141200, Московская область, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15;

Телефон: 8(495)993–30–54.

E-mail: info@roslesrad.ru

Постепенное увеличение среднегодовой температуры атмосферы Земли, наблюдаемое в последние десятилетия, обуславливает необходимость прогнозирования воздействия этого явления на состояние лесов. Подтвержденное на сегодняшний день потепление, по сравнению с преиндустриальным уровнем конца XIX века, в целом по планете составляет  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  [7]. Межгосударственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) на основе анализа климатических моделей пришла к выводу о возможном повышении средней температуры поверхности Земли до конца текущего столетия на  $1,1\text{--}6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2].

По имеющимся прогнозам, на территории Российской Федерации ожидаются значительные климатические перемены [8]. Согласно некоторым сценариям МГЭИК к концу XXI века вероятное увеличение средней годовой температуры по регионам России составит от  $4$  до  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  [4]. Столь значительные трансформации температурного режима и сопутствующих изменений количества испаряющейся и выпадающей с осадками влаги неизбежно вызовут сильную ответную реакцию лесной древесной растительности [3].

Воздействие климатических перемен на леса России могут быть положительными и отрицательными, в зависимости от регионов страны. Ожидается, что в северных областях рост средней температуры будет происходить более быстрыми темпами, чем на остальной части. По одному из возможных сценариев, при потеплении в целом по планете, равном  $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура в зоне бореальных лесов поднимется на  $4\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более. Климатические модели, принимающие в расчет такие «побочные эффекты» глобального изменения климата, как таяние вечной мерзлоты и усыхание лесов, прогнозируют повышение температуры в бореальной зоне Восточной Канады, Скандинавии и Центральной России до  $10\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом потепление климата в зимний период, возможно, будет несколько большим, чем в летние месяцы [9].

При оценке влияния изменений климата на растительные сообщества предполагается, что в условиях более теплого и продолжительного периода вегетации увеличится продуктив-

ность и, соответственно, биомасса деревьев и кустарников [1]. Однако исследования в природных условиях дают противоречивые результаты: в разных районах произрастания, у разных видов деревьев и в разные периоды отмечается как увеличение, так и уменьшение интенсивности роста. Анализ изменений ширины годичных колец [9] показал, что в большей части бореальной зоны у большинства хвойных пород наблюдается негативная реакция на увеличение температуры в 20-м столетии. При этом при прочих равных условиях более сильное снижение прироста наблюдалось в районах с более выраженным потеплением климата. Эти результаты дают основание считать повышение температуры стрессовым фактором, к которому древесная растительность, как правило, не может адаптироваться.

Большинство исследователей сходятся на том, что глобальное потепление затрагивает практически все биоэкологические механизмы лесных фитоценозов, и прогнозирование возможных кратковременных и долгосрочных последствий должно максимально учитывать конкретные условия произрастания насаждений.

Наше исследование проведено в 2010 г. в Красногорском участковом лесничестве Клинецкого лесничества Брянской области, субъекте Российской Федерации, наиболее сильно пострадавшем в результате аварии на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. Площадь земель Брянской области, загрязненных радиоцезием по состоянию на 01.01.1997 составила 171 тыс. га, при этом на 2,2 тыс. га зафиксирована плотность загрязнения более  $40\text{ Ки/км}^2$  [5]. С момента аварии на ЧАЭС к настоящему времени произошел полный распад короткоживущих радионуклидов ( $^{131}\text{I}$ ), завершается распад  $^{134}\text{Cs}$ , идет постепенное уменьшение количества основных дозообразователей  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . В настоящее время мощность экспозиционной дозы (МЭД) в лесах в основном колеблется в диапазоне от  $0,15$  до  $5\text{ мкЗв/ч}$ , однако имеются локальные участки с более высокими уровнями ионизирующего излучения.

Исследования проведены в насаждении, которое классифицируется как сосняк черничный 60 лет, I класса бонитета, произрастающий

на пологом северо-западном склоне холма в условиях нормального почвенного увлажнения, обусловленного близостью грунтовых вод. Благоприятному гидрологическому режиму содействует значительное количество выпадающих осадков, относительно равномерно распределенных по сезонам года: по данным Красногорской метеостанции в районе исследований в среднем в течение года выпадает 554 мм осадков, половина из которых — в безморозный период.

Для измерения радиального прироста древесины в 2010 г. буравом Пресслера были отобраны приростные керны на высоте 1,3 м. При транспортировке, первичной обработке кернов и датировке годовичных колец древесины руководствовались общепринятыми методами. Измерения радиального прироста (отдельно раннего и позднего) вели с помощью бинокулярного микроскопа МБС-1 с точностью до 0,05 мм.

В работе использованы результаты измерений прироста деревьев, которые по стандартной оценочной шкале [6] были отнесены к двум категориям состояния: без признаков ослабления и ослабленные (соответственно деревья 1-й и 2-й категорий состояния). Для характеристики погодных ситуаций разных лет использованы сведения о температурном режиме в районе исследований в период с 1998 по 2009 г.

Метеорологические условия — в первую очередь температура воздуха и количество осадков — относятся к наиболее существенным факторам внешней среды, определяющим ход роста древесных растений. При этом в зависимости от конкретных лесорастительных условий ключевая роль может принадлежать разным факторам, действующим в разные временные отрезки не только вегетационного, но и межвегетационного периодов.

Количественный анализ влияния климатических факторов на ход роста деревьев обычно основан на корреляционной зависимости текущего прироста от показателей температуры воздуха или количества осадков в отдельные периоды времени. В нашем исследовании размер текущего радиального прироста за 12-летний период сопоставлен со среднесуточными оценками температуры воздуха в отдельные месяцы текущего года, в которые происходило форми-

рование прироста, а также в летне-осенний период предыдущего года.

Результаты корреляционного анализа позволяют сделать вывод, что более интенсивному росту годовичных колец содействует относительно прохладное начало осени и сравнительно ее теплая середина в сочетании с мягкой серединой зимы и теплой весной, обеспечивающие оптимальные температурные условия физиологических процессов при подготовке деревьев к зимовке и при возобновлении вегетации. В этих условиях деревья максимально используют имеющийся запас питательных веществ для формирования проводящих тканей ранней, весенней древесины, хорошее развитие которой в свою очередь создает благоприятные условия для роста внешнего слоя годовичного кольца, т. е. поздней древесины.

При разработке уравнений регрессии использованы сведения о средней температуре воздуха за 5 месяцев с наиболее высокими показателями корреляции этого фактора с текущим приростом древесины. Как видно из таблицы 1, во всех уравнениях набор независимых переменных специфичен, что, по-видимому, обусловлено особенностями физиологии деревьев разных категорий состояния и разными периодами формирования ранней и поздней древесины.

Значения множественного коэффициента корреляции пяти независимых переменных в разных уравнениях варьировали от 0,777 до 0,897, а соответствующие значения коэффициента детерминации  $D = R^2$  колебались от 0,604 до 0,805. Это означает, что температура воздуха в течение 5 месяцев, выбранных в качестве независимых переменных, определяла размер текущего радиального прироста деревьев разных категорий состояния в диапазоне от 60,4 до 80,5 %. Причиной этого, по-видимому, является наличие иных, помимо температуры воздуха, вариативных факторов, влиявших на интенсивность ростовых процессов деревьев сосны. Кроме того, измерения метеорологических показателей в пунктах, удаленных от района исследований и располагающихся на открытом месте, безусловно, недостаточно точно отражают характеристики микроклимата опытных насаждений.

Таблица 1

Результаты множественно-регрессионного анализа зависимости текущего радиального прироста деревьев сосны от среднесуточной температуры воздуха отдельных месяцев

Прирост	Категория состояния деревьев	Регрессионная модель	R	$m_{y/x}$
Ранний	1	$Z_{p(n)} = 1,005 + 0,0329(VII_{n-1}) - 0,0530(IX_{n-1}) + 0,1016(X_{n-1}) + 0,0078(II_n) - 0,0283(V_n)$	0,897	0,081
	2	$Z_{p(n)} = 1,157 - 0,0028(VII_{n-1}) - 0,0161(VIII_{n-1}) + 0,0434(X_{n-1}) + 0,0150(II_n) + 0,0071(IV_n)$	0,873	0,062
Поздний	1	$Z_{s(n)} = 1,814 + 0,0611(X_{n-1}) - 0,0117(XII_{n-1}) + 0,0329(III_n) - 0,0153(IV_n) - 0,0456(VII_n)$	0,790	0,396
	2	$Z_{s(n)} = 1,407 + 0,0209(X_{n-1}) - 0,0014(XII_{n-1}) + 0,0082(II_n) + 0,0165(III_n) - 0,0256(VII_n)$	0,777	0,093

Примечание. R — множественный коэффициент корреляции;  $m_{y/x}$  — стандартная ошибка уравнения; в круглых скобках указаны месяцы, сведения о средней температуре воздуха которых использованы в качестве независимых переменных в уравнениях регрессии.

Для расчета прироста древесины в нормальных условиях использовали среднесуточные значения температуры воздуха отдельных месяцев. Расчет возможных изменений прироста проводили, исходя из предположения, что потепление климата выразится в увеличении среднесуточной температуры воздуха каждого месяца на одну и ту же величину.

Результаты расчетов показывают, что в условиях района исследований возможное потепление климата позитивно отразится на ходе роста сосновых древостоев. По мере возрастания средней температуры воздуха можно ожидать последовательное увеличение интенсивности роста как ранней, так и поздней древесины. При этом увеличение прироста будет происходить прямо пропорционально потеплению климата. Возрастание средней температуры воздуха на каждые 0,5 °С, согласно проведенным расчетам, вызовет увеличение текущего ранне-

го прироста на 2,3 % и на 2,0 % соответственно у деревьев 1-й и 2-й категорий состояния и увеличение позднего прироста на 0,9 % у деревьев обеих категорий состояния (табл. 2). При максимальном из рассмотренных уровней повышения температуры (на 3 °С) можно ожидать увеличение текущего раннего прироста на 13,8 % и 12,4 % и текущего позднего прироста — на 5,1 % и 5,4 % соответственно у деревьев сосны 1-й и 2-й категорий состояния.

Небольшие различия в оценках относительной реакции деревьев разных категорий состояния на изменение температурного режима, возможно, означают, что они отражают не объективное положение, а являются следствием обычной вариативности экспериментальных оценок прироста, получаемых методом выборки. Кроме того, может иметь значение и субъективность оценок санитарного состояния модельных деревьев, обусловленная визуальным

способом определения этого показателя. В связи с этим представляется закономерным практическое совпадение оценок изменения общего текущего прироста деревьев, отнесенных в категории «без признаков ослабления» и «ослабленные»: соответственно +9,6 % и +9,1 % при увеличении среднесуточной температуры на 3,0 °С.

Положительная зависимость текущего радиального прироста деревьев сосны от среднесуточной температуры воздуха в условиях района исследований связана, на наш взгляд,

с особенностями гидрологии и топографии местности. При потеплении климата условия произрастания насаждения, расположенного на северо-западном склоне и имеющего хорошую влагообеспеченность почвы, безусловно, станут более комфортными, содействующими увеличению эффективности функционирования зеленой кроновой фитомассы. В этих условиях растения получают возможность осуществления более интенсивного синтеза органических веществ, необходимых для формирования камбиальной ткани.

Таблица 2

Ожидаемые изменения радиального прироста деревьев сосны при потеплении климата

Вид прироста	Категория состояния дерева	Оценки радиального прироста по уравнениям регрессии (мм) при нормальных погодных условиях и при потеплении климата						
		Норма	Изменение (увеличение) среднесуточной температуры, °С					
			0,5	1	1,5	2	2,5	3
Ранний	1	1,329	1,360	1,390	1,421	1,451	1,482	1,512
	2	1,130	1,153	1,176	1,200	1,223	1,246	1,270
Поздний	1	1,251	1,262	1,272	1,283	1,294	1,305	1,315
	2	1,019	1,028	1,037	1,046	1,056	1,065	1,074
Общий	1	2,580	2,621	2,663	2,704	2,745	2,786	2,827
	2	2,148	2,181	2,213	2,246	2,279	2,311	2,344
Изменения прироста относительно его значений при нормальных условиях, %								
Ранний	1	0,0	+2,3	+4,6	+6,9	+9,2	+11,5	+13,8
	2	0,0	+2,0	+4,1	+6,2	+8,2	+10,3	+12,4
Поздний	1	0,0	+0,9	+1,7	+2,6	+3,4	+4,3	+5,1
	2	0,0	+0,9	+1,8	+2,7	+3,6	+4,5	+5,4
Общий	1	0,0	+1,6	+3,2	+4,8	+6,4	+8,0	+9,6
	2	0,0	+1,5	+3,0	+4,6	+6,1	+7,6	+9,1

Таким образом, математическое моделирование ростовых процессов деревьев в западной части Брянской области, в зоне загрязнения радиоактивными продуктами в результате аварии на Чернобыльской АЭС, показывает, что в приспевающем сосняке черничном при нормальном почвенном увлажнении и обильных осадках одним из следствий возможного потепления климата может стать улучшение условий произрастания основной древесной породы. В случае возрастания средней температуры воздуха следует ожидать определенное усиление

интенсивности роста деревьев сосны. Одновременно с увеличением текущего радиального прироста может произойти некоторое ухудшение качества древесины из-за более быстрого роста внутреннего слоя годичного кольца в сравнении с внешним. Разработанные множественно-регрессионные уравнения позволяют оценить градиент изменений текущего раннего прироста, равным 4,1–4,6 % на 1 °С, а градиент изменений позднего прироста, равным 1,7–1,8 % на 1 °С повышения среднесуточной температуры воздуха.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бударина Р. Последствия глобального потепления // Леспроектинформ. 2008. № 8(57). С. 154–157.
2. Изменение климата. Обобщающий доклад МГЭИК. Женева: МГЭИК, 2007. 104 с.
3. Моисеев Б.Н., Страхов В.В. Расчеты возможной реакции лесов России на глобальное потепление климата // Лесн. хоз-во. 2002. № 4. С. 5–8.
4. Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 года / под ред. А.П. Петрова и М.А. Лобовикова. Рим, 2012. 159 с.
5. Руководство по ведению лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения от аварии на Чернобыльской АЭС (на период 1997–2000 гг.) / Сост.: И.И. Марадудин, А.В. Панфилов, Т.В. Русина, В.А. Шубин и др. // Утверждено Приказом Федеральной службы лесного хозяйства России от 31.03.97 № 40. М., 1997. 61 с.
6. Санитарные правила в лесах Российской Федерации. М., 2006. 20 с.
7. Gamache I., Payette S. Latitudinal response of subarctic tree lines to recent climate change in eastern Canada // Journal of Biogeography. 2005. Vol. 32. № 5. P. 849–862.
8. Meleshko V.P., Katsov V.M., Govorkova V.A. Climate of Russia in the XXI century. 3. Future climate changes obtained from an ensemble of the coupled atmosphere-ocean GCM CMIP3 // Meteorology and Hydrology. 2008. № 9: P. 5–22.
9. Ollson R. To manage or protect? Boreal forests from a climate perspective. Goteborg, 2011. 67 p.