

УДК 504.73.054:662

### **З.П. Мартынюк**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Мартынюк Зиновий Петрович родился в 1962 г., окончил в 1980 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат биологических наук, заведующий отделом компьютерных систем, технологий и моделирования Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет 24 печатные работы в области лесной экологии.  
E-mail: zimart@ib.komisc.ru



## **ИЗМЕНЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ В РАЙОНЕ ПАДЕНИЯ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ РАКЕТОНОСИТЕЛЕЙ ВАЖГОРТ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)**

На основе данных об изменении радиального прироста сосны проведена оценка регенеративной способности древесной растительности в районе падения и длительного пребывания обломков первых ступеней ракетноносителей. Для оценки экономического ущерба дополнительно рекомендуется учитывать суммарное уменьшение прироста древесины.

*Ключевые слова:* экология, лесные фитоценозы, радиальный прирост, ракетно-космическая деятельность.

Ракетно-космическая деятельность становится одним из ведущих факторов негативного воздействия на природную среду [4, 9, 16, 24]. Уже сейчас некоторые участки суши превращены в свалку космического мусора. Это районы падения отделяющихся частей ракетноносителей (ОЧРН), исследования которых единичны и фрагментарны [8, 17].

В настоящее время только на территории Республики Коми для приема частей ракет, запускаемых с космодрома Плесецк, используются 4 участка: Вашка, Печора, Усть-Цильма и Железнодорожный. Существует еще ряд полигонов, ранее бывших районами падения (РП) обломков ракетноносителей, территориально с современными РП не совпадающих. К ним, в частности, относится РП Важгорт.

Во время штатного полета ракетноносителя в расчетные моменты времени происходит неуправляемое свободное падение отработавших блоков на поверхность Земли. Методом статистического моделирования с заданной вероятностью определяется зона их падения. Район Важгорт представляет собой вытянутый эллипс с радиусами 10 (меньший) и 20 (большой) км, площадью около 6000 га. Его использовали для приема отделяющихся частей ракет в конце 1960-х – начале 1970-х гг. За 5...6 лет на небольшую по площади территорию упало около 100 ступеней ракет, утилизация которых в основном производилась методом подрыва. С момента падения последней ступени прошло более 30 лет. По существу, имеет место «эксперимент»,

смоделировать который в лабораторных условиях не представляется возможным. Исследование этого РП позволяет не только оценить современное состояние растительности, подвергшейся интенсивному, краткосрочному воздействию негативного фактора, но и ответить на вопрос, за какое время лесные участки могут восстановиться. Для оценки регенеративной способности лесных экосистем использовали наиболее распространенный ретроспективный метод изучения годичного радиального прироста деревьев, дающий возможность проследить процесс лесовосстановления в динамике.

Радиальный прирост дерева – интегральный показатель, позволяющий провести анализ условий его существования на протяжении всей жизни, активно используемый в индустриальной экологии для оценки степени воздействия загрязнения на окружающую среду [10, 12]. Объектом исследований нередко выбирают сосну [19, 22, 23] – одну из основных лесообразующих пород бореальной зоны.

Район падения отделяющихся частей ракетносителей Важгорт (его центр) расположен в верхнем течении р. Пыссы (64°14' с.ш., 47°43' в.д.), на территории Пысского заказника, созданного для охраны мест нереста семги [6]. Леса этого района Гринпис относит к категории малонарушенных, девственных [26].

С учетом данных [7] для контроля выбран участок в 30 км от центра РП, в нижнем течении р. Пыссы при впадении в нее р. Субась, на той же широте, со сдвигом по долготе на 1°. Почвенно-климатическая характеристика опытного и контрольного районов практически одинакова [2].

Всего было заложено 10 пунктов учета (ПУ): 6 в РП и 4 на контрольных участках (рис. 1). При этом использовано руководство ICP Forest, разработанное для проведения долговременного мониторинга и оценки влияния загрязнения воздуха на леса Европы [15, 27]. В нашей работе повторное обследование не предполагалось.

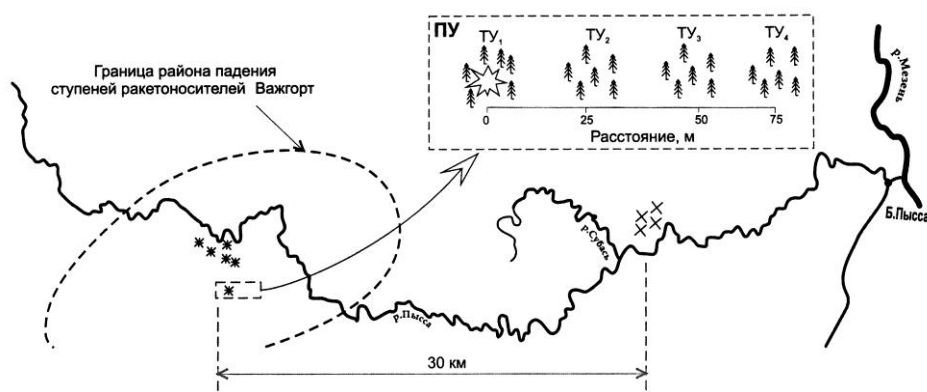


Рис. 1. Схема расположения пунктов и точек учета: × – ПУ контрольные; \* – в районе падения

Расположение опытных ПУ соответствовало местам падения ступеней ракет. Определение географических координат и привязку к местности осуществляли с помощью GPS. Шесть обнаруженных мест падения оказались в сосняках, три из них в лишайниковых и три в черничных. Четыре контрольных ПУ закладывали за границей района падения отделяющихся частей ракетносителей в тех же типах леса, что и опытные: два в сосняках лишайниковых и два в черничных.

Для каждого ПУ выбирали четыре точки учета (ТУ) (рис. 1). Первая ТУ находилась в центре падения ступени. Если производили подрыв, то центром падения считался центр воронки. Через каждые 25 м от центра на одной линии закладывали еще три ТУ. Основное условие выбора направления – однородность лесорастительных условий. В каждой из четырех точек учета подбирали по шесть живых деревьев I яруса, I–III классов развития по Крафту. Такой подход к выбору деревьев согласуется с [7].

Для оценки годовичного радиального прироста на высоте груди (1,3 м от корневой шейки) по двум направлениям (северному и южному) высверливали керны [3, 5]: 121 на опытных участках и 70 на контрольных.

Камеральную обработку экспериментального материала выполняли по усовершенствованной нами методике, с использованием компьютера и сканера. Керны в кассетах (рис. 2) сканировали с высоким разрешением (1200 точек на дюйм) на офисном планшетном сканере вместе с приложенной рядом линейкой. Полученное цифровое изображение подавали на вход специализированной программы, где обрабатывали фильтрами для наилучшего проявления годовичных колец, приводили к метрической системе координат, калибровали, после чего в автоматическом режиме выдавались данные прироста по годам.

При обработке собранных материалов индексы прироста [14, 21], применяемые для исключения влияния фактора возраста, не вычисляли, чтобы можно было его учесть при определении регенеративных свойств древостоев. Деревья были разбиты на три возрастные группы, для каждой получены усредненные значения радиального прироста.

Размер выборки позволил с высокой точностью судить о динамике радиального прироста в абсолютных величинах, не переводя их в относительные индекс-проценты [20]. Из математических средств обработки использовали усреднение исходных данных по каждому керну методом скользящего среднего с «окном» 10 лет [18, 20, 21].

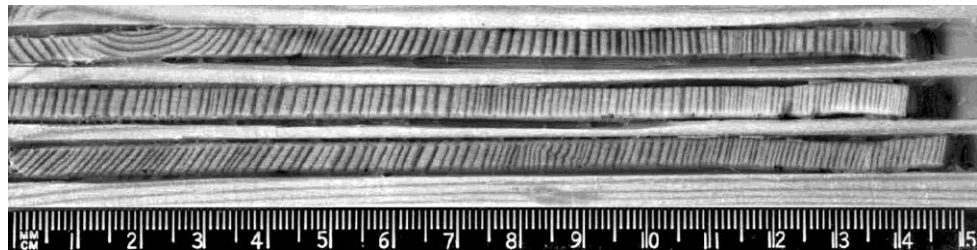


Рис. 2. Сканированное цифровое изображение кассеты с кернами

Общей тенденцией для всех анализируемых групп деревьев является постепенное уменьшение радиального прироста, связанное с особенностями хода роста сосны [1, 11]. В лишайниковых типах леса прирост на 10...15 % меньше, чем в черничных, по всем категориям сравниваемых объектов.

В период использования РП для приема ОЧРН отмечается снижение радиального прироста сосны на опытных участках по сравнению с контролем, что однозначно указывает на отрицательное воздействие обработанных частей ракетоносителей. Этот факт часто оспаривается или полностью отрицается военными [25].

Собранный материал позволяет более детально рассмотреть особенности изменения ежегодного радиального прироста сосны в разных типах леса и у разных возрастных групп деревьев. В сосняках лишайниковых реакция на внешнее воздействие более выражена в первые годы использования РП. Прирост уменьшается быстрее, чем в черничных, как и его восстановление после падения последней обработанной ступени (рис. 3, а).

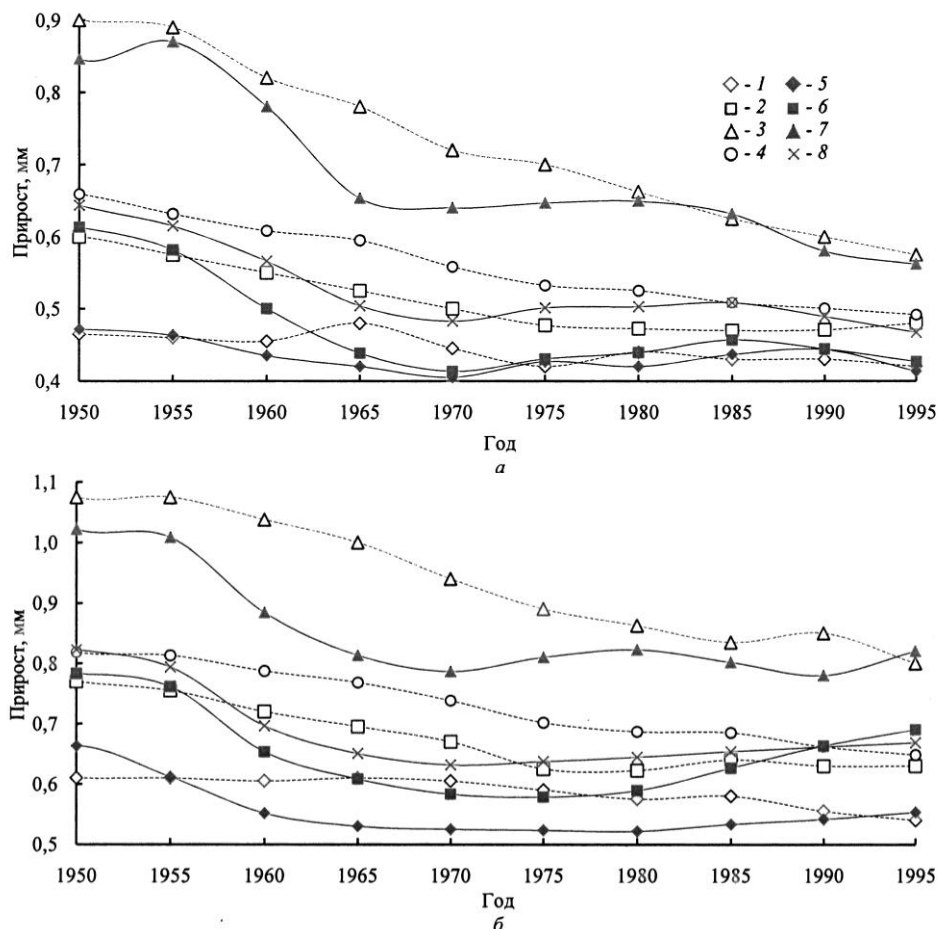


Рис. 3. Радиальный прирост на контрольных и опытных участках в сосняках лишайниковых (а) и черничных (б): 1–4 – на контрольных участках в возрасте соответственно 180...220, 140...180, 100...140 лет и среднее; 5–8 – то же на опытных участках

В черничных типах леса соответственно наблюдается запаздывание реакции прироста в достижении минимума на 3...5 лет. При этом срок восстановления до нормы, соответствующей контрольным участкам, в этих лесорастительных условиях сдвинут в сторону увеличения, т. е. оно наступает позже (рис. 3, б).

Поскольку точное время падения каждой ступени в исследованных ПУ неизвестно, то вывод о неодновременности, несинхронности реакции прироста на изменение экологической обстановки в разных типах леса нельзя считать обоснованным. Однако с определенной долей уверенности можно утверждать, что сроки восстановления прироста в черничных типах леса более продолжительные.

Сравнение реакции радиального прироста на изменение экологических условий у разных возрастных групп позволило выявить существенные различия между ними (см. таблицу). Для 100–140-летних деревьев характерно резкое снижение прироста, а затем быстрое восстановление до уровня, отмечаемого в контроле. Период регенерации занимает 15...20 лет. Для более старых деревьев 140–180-летнего возраста характерно постепенное, плавное уменьшение прироста и медленное его увеличение с периодом восстановления 20...25 лет. При этом суммарное снижение немного ниже, чем у более молодых деревьев. 180–220-летние деревья на неблагоприятный фактор реагируют слабо, в лишайниковом типе леса прирост практически одинаков в контроле и опыте.

Существенность различий радиального прироста с 1960 г. по 1985 г. статистически подтверждается на уровне значимости  $p \leq 0,05$ , т. е. с вероятностью 95 % можно утверждать, что они не случайны. Для проверки их достоверности с помощью компьютерной программы STATISTICA 6 вычисляли t-критерий Стьюдента и уровень его значимости ( $p$ ).

Поскольку проводится ретроспективный анализ для события, произошедшего 30...40 лет назад, то и возраст исследуемых деревьев следует пересчитать и привести к 1960–1970 гг. С учетом этого прирост сосны в возрасте до 100 лет сильно зависит от условий окружающей среды и резко сокращается под действием неблагоприятных факторов. У деревьев старше 150 лет прирост более инертен и если отрицательное воздействие не приводит к летальным последствиям, изменяется незначительно.

Таким образом, установлено, что снижение радиального прироста сосны непосредственно в местах падения ОЧРН не зависит от типа леса и возраста деревьев. Восстановление протекает более быстрыми темпами у деревьев до 100 лет в лишайниковых типах леса и в среднем занимает 15...20 лет. Во всех остальных случаях период регенерации больше.

С 1960 г. по 1970 г. разница прироста по диаметру сосны между контрольным районом и РП ОЧРП Важгорт в среднем составила примерно 1,5 мм, еще 1,5 мм в следующее десятилетие и 0,5 мм с 1980 г. по 1990 г. (см. таблицу). Общий прирост с 1960 г. по 1990 г. сократился на 3,5 мм, что можно считать одним из последствий ракетно-космической деятельности для этого района. На сегодняшний день прирост сосны на опытных участках восстановился и совпадает с контролем.

## Радиальный прирост сосны, мм

Годы	Возраст сосны, лет			Средний	Контроль – опыт
	180...220	140...180	100...140		
Сосняк лишайниковый					
1995–2000	<u>2,12</u>	<u>2,38</u>	<u>2,93</u>	<u>2,48</u>	0,10
	2,13	2,17	2,85	2,38	
1990–1995	<u>2,15</u>	<u>2,35</u>	<u>3,05</u>	<u>2,52</u>	0,04
	2,20	2,25	3,00	2,48	
1985–1990	<u>2,17</u>	<u>2,36</u>	<u>3,20</u>	<u>2,58</u>	0,05
	2,15	2,25	3,19	2,53	
1980–1985	<u>2,16</u>	<u>2,37</u>	<u>3,39</u>	<u>2,64</u>	0,13
	2,11	2,18	3,24	2,51	
1975–1980	<u>2,15</u>	<u>2,43</u>	<u>3,54</u>	<u>2,71</u>	0,24
	2,09	2,12	3,20	2,47	
1970–1975	<u>2,30</u>	<u>2,55</u>	<u>3,72</u>	<u>2,86</u>	0,40
	2,06	2,12	3,20	2,46	
1965–1970	<u>2,35</u>	<u>2,68</u>	<u>3,98</u>	<u>3,00</u>	0,34
	2,13	2,32	3,52	2,66	
1960–1965	<u>2,29</u>	<u>2,80</u>	<u>4,24</u>	<u>3,11</u>	0,12
	2,23	2,66	4,08	2,99	
1955–1960	<u>2,31</u>	<u>2,93</u>	<u>4,47</u>	<u>3,24</u>	0,04
	2,33	2,97	4,30	3,20	
1950–1955	<u>2,34</u>	<u>3,00</u>	<u>4,56</u>	<u>3,30</u>	–
	2,36	3,09	4,45	3,30	
Сосняк черничный					
1995–2000	<u>2,73</u>	<u>3,15</u>	<u>4,10</u>	<u>3,33</u>	–0,06
	2,74	3,40	4,02	3,39	
1990–1995	<u>2,83</u>	<u>3,17</u>	<u>4,22</u>	<u>3,41</u>	0,12
	2,69	3,24	3,94	3,29	
1985–1990	<u>2,89</u>	<u>3,17</u>	<u>4,23</u>	<u>3,43</u>	0,18
	2,64	3,06	4,05	3,25	
1980–1985	<u>2,91</u>	<u>3,12</u>	<u>4,37</u>	<u>3,46</u>	0,25
	2,61	2,92	4,09	3,21	
1975–1980	<u>2,98</u>	<u>3,22</u>	<u>4,55</u>	<u>3,58</u>	0,40
	2,62	2,90	4,00	3,18	
1970–1975	<u>3,04</u>	<u>3,40</u>	<u>4,82</u>	<u>3,75</u>	0,55
	2,64	2,97	3,99	3,20	
1965–1970	<u>3,04</u>	<u>3,53</u>	<u>5,08</u>	<u>3,88</u>	0,54
	2,69	3,13	4,21	3,34	

Окончание таблицы

Годы	Возраст сосны, лет			Средний	Контроль – опыт
	180...220	140...180	100...140		
1960–1965	3,04	3,67	5,26	3,99	0,31
	2,88	3,48	4,67	3,68	
1955–1960	3,05	3,81	5,38	4,08	0,05
	3,16	3,85	5,07	4,03	
1950–1955	3,07	3,90	5,53	4,17	0,03
	3,23	3,91	5,27	4,14	

Примечание. В числителе – данные для контрольных участков; в знаменателе – для опытных.

Существующие оценки экологического ущерба и расчет размера компенсации за нанесенный природному комплексу ущерб в РП ОЧРН регламентируются на основании [13]. Оценка прямого экономического ущерба часто затруднена в связи с отсутствием четких коммерческих критериев. Для РП одним из таких критериев может быть уменьшение запаса древесины, которое легко перевести в денежное выражение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антанайтис В.В., Загреев В.В. Прирост леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 200 с.
2. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии. – М.: Изд-во «ДИК», 1997. – 116 с.
3. Битвинкас Т.Т. Дендроклиматические исследования. – Л.: Гидрометеопиздат, 1974. – 172 с.
4. Власов М.Н., Кричевский С.В. Экологическая опасность космической деятельности: ан. обзор. – М.: Наука, 1999. – 242 с.
5. Дворецкий М.Л. Текущий прирост древесины ствола и древостоя. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 125 с.
6. Кадастр охраняемых природных территорий Республики Коми. Ч. 1. – Сыктывкар, 1993. – 190 с.
7. Карнавичус И.А. Оценка индивидуальной и групповой изменчивости радиального прироста деревьев при помощи процента сходства // Пространственные изменения климата и годовые кольца деревьев. – Каунас, 1981. – С. 45–67.
8. Комплексная экологическая оценка районов падения отделяющихся частей ракет-носителей на полигоне «Плесецк» / А.Б. Бушмарин и [др.] // Экологические аспекты воздействия компонентов жидких ракетных топлив на окружающую среду: материалы науч.-практ. конф. 19–22 сент. 1995 г. – СПб.: РНЦ «Прикладная химия», 1996. – С. 5–8.
9. Кричевский С.В. Космическая деятельность: итоги XX века и стратегия экологизации // Обществ. науки и современность. – 1999. – № 6. – С. 141–149.
10. Кулагин Ю.З. Индустриальная дендроэкология и прогнозирование. – М.: Наука, 1985. – 117 с.
11. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР / под ред. А. Г. Мошкалева [и др.]. – Л.: ЛТА, 1984. – 320 с.
12. Ловеллус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. – Л.: Наука, 1979. – 232 с.

13. Методика расчета компенсационных выплат субъектам Российской Федерации за разовое использование районов падения при проведении запусков космических аппаратов (за исключением запусков в интересах обороны, безопасности страны и в соответствии с Федеральной космической программой) // Рос. газ. – 1998. – 16 апр.

14. Рудаков В.Е. Модульные коэффициенты годичного прироста деревьев – основа воссоздания хода колебаний атмосферных осадков // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. – 1980. – Т. 112. – С. 237–243.

15. Руководство по методам и критериям согласованного отбора проб, оценки, мониторинга и анализа влияния загрязнения воздуха на леса. Ч. 1. – Гамбург, 1998. – 112 с.

16. Сидоров П.И., Совершаева С.Л., Скребцова Н.В. Экологические и методические аспекты ракетно-космической деятельности // Геофиз. проблемы и биосфера. – 2008. – Т. 7, № 4. – С. 14–29.

17. Скребцова Н.В., Совершаева С.Л., Павлова Е.А. Характеристика и анализ динамики смертности населения, проживающего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей // Здоровье населения и среда обитания. – 2005. – № 5. – С. 30–32.

18. Ступнева А.В. Пространственно-временная изменчивость основных статистик дендрорядов профиля Мурманск – Карпаты // Пространственные изменения климата и годичные кольца деревьев. – Каунас, 1981. – С. 90–100.

19. Таранков В.И., Матвеев С.М. Радиальный прирост древостоев сосны обыкновенной в зоне действия промышленного загрязнения // Лесн. журн. – 1994. – № 4. – С. 48–51. – (Изв. высш. учеб. заведений).

20. Феклистов П.А. О точности учета радиального годичного прироста древостоя в разных типах леса // Лесн. журн. – 1978. – № 2. – С. 23–27. – (Изв. высш. учеб. заведений).

21. Шиятов С.Г. К методике расчета индексов прироста деревьев // Экология. – 1970. – № 3. – С. 85–87.

22. Щекалев Р.В., Тарханов С.Н. Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2006. – 127 с.

23. Щекалев Р.В., Торлопова Н.В. Влияние аэротехногенного загрязнения на радиальный прирост сосны обыкновенной // Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии: тез. докл. VI Всерос. популяц. семинара. – Нижний Тагил, 2002. – С. 205 – 207.

24. Экологические проблемы и риски воздействия ракетно-космической техники на окружающую природную среду: справ. пособие / под ред. В.В. Адушкина [и др.]. – М.: Изд-во «Анкил», 2000. – 642 с.

25. Экологический паспорт района падения отделяющихся частей ракет-носителей «Койда»//РНЦ «Прикладная химия». – Мирный Арханг. обл., 1998. – 40 с.

26. Ярошенко А.Ю., Потапов П.В., Турубанова С.А. Малонарушенные лесные территории Европейского Севера России. – М.: Гринпис России, 2001. – 75 с.

27. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests/ Prepared by the programmer Coordinating Centers with the assistance of the UNEP and the Secretariat IN-ECE. – Stuttgart, 1998. – 353 p.



*Z.P. Martynyuk*

Institute of Biology. Komi Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences

**Change of Pine Radial Increment in Area of Separable Parts Fall of Carrier Rockets Vazhgort (the Komi Republic)**

The regeneration capacity of wood vegetation is evaluated in the area of fall and long stay of fragments of the first stages of carrier rockets based on the data on changes in the pine radial increment. To estimate the economic damage it is recommended additionally to take into account the total reduction in timber growth.

Keywords: ecology, forest phytocenoses, radial increment, rocket-and-space activities.

---