

Еще одна загадка Тунгусской катастрофы?

Е. А. Касаткина, О. И. Шумилов

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, 184209 Апатиты, Россия

Поступила в редакцию 23 января 2007 г.

По данным дендрохронологического анализа (68 древесно-кольцевых хронологий) показано, что увеличение годовичного прироста деревьев, наблюдавшееся после взрыва Тунгусского болида 30 июня 1908 г. (61° с.ш., 102° в.д.), зафиксировано на значительном расстоянии (более 1500 км) от места взрыва и охватывает огромную территорию ($60\text{--}75^{\circ}$ с.ш., $80\text{--}110^{\circ}$ в.д.) площадью около 2 млн. км². Ранее сообщалось об аномальном росте деревьев лишь в зоне, подвергнутой непосредственному разрушению (около 2000 км²). Похожий результат получен при исследовании изменений величины годовичного прироста во время взрыва Чулымского болида 26 февраля 1984 г. (57.7° с.ш., 85.1° в.д.). Приведена возможная интерпретация наблюдаемого явления. Полученный результат открывает новые возможности для использования дендрохронологического метода при решении проблем астероидно-кометной опасности.

PACS: 89.60.Gg, 96.50.Mt

Столкновение с Землей относительно больших астероидов и комет рассматривается в качестве одной из основных опасностей, угрожающих человечеству [1, 2]. Степень воздействия на окружающую среду зависит от размера падающих небесных тел. Гигантский астероид диаметром 10 км упал на Землю 65 миллионов лет назад, что привело к глобальной катастрофе и, по-видимому, к массовой гибели динозавров [2]. Падение на Землю космического объекта диаметром более 500 м вызвало резкое похолодание и последовавший за этим голод в 536–540 гг. [3, 4]. Столкновение с Землей небесного тела размером 50 м в диаметре может привести к уничтожению практически всего живого на территории площадью до 2000 км², как это произошло во время Тунгусской катастрофы 30 июня 1908 г. [5, 6]. Но не все столкновения носят катастрофический характер. Считается, что кометное вещество не только сыграло важную роль в формировании земной атмосферы [7, 8], но и сама жизнь на Земле могла возникнуть в результате столкновения с кометой [9, 10]. В последнее время появляется все больше фактов, подтверждающих данную гипотезу. Данные спектрального анализа, полученные с космических зондов, подтвердили наличие органических соединений в составе кометного вещества [11, 12]. Результаты некоторых лабораторных исследований указывают на то, что в метеоритном веществе содержатся элементы, способствующие росту некоторых растений и размножению бактерий [13, 14]. Об ускоренном росте деревьев, наблюдавшемся непосредственно в зоне Тунгусской катастрофы, ограниченной размерами 2000 км², сообщалось в работах [5, 6]. Несмотря на то, что этому

событию посвящено более тысячи работ, многие вопросы остались не решенными до сих пор [6].

В настоящей работе приводятся результаты анализа собственных дендрохронологических данных, а также данных Международного дендрохронологического банка [<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>], собранных на территории России, свидетельствующие об ускоренном росте деревьев на значительных расстояниях (более 1000 км) от эпицентра взрыва в атмосфере Земли двух болидов – Тунгусского и Чулымского. О применении дендрохронологического метода для изучения последствий экологических катастроф и регулярности событий, вызванных столкновениями с астероидами и кометами, сообщалось в ряде работ [2–4]. Но все эти исследования посвящены климатическим изменениям глобального масштаба, которые проявились в резком похолодании климата и были вызваны столкновениями с космическими объектами больших размеров (более 500 м) [3, 4]. Наши результаты указывают на возможность применения дендрохронологического анализа для исследования последствий столкновений с гораздо более малыми небесными телами размером от нескольких до 100 м. Именно эти космические объекты наиболее трудны для обнаружения обычными оптическими методами [1, 15].

30 июня 1908 г. в районе бассейна реки Подкаменная Тунгуска (61° с.ш.; 102° в.д.) на высоте 5–10 км произошел взрыв космического тела [6]. По разным оценкам мощность взрыва составила от 10 до 40 Мт тротилового эквивалента, при этом зона разрушений составила более 2000 км² [6]. Помимо разру-

шений в районе Тунгусской катастрофы наблюдался ускоренный рост деревьев [1, 5, 6]. Наиболее общепринятая интерпретация этого явления связана с уменьшением плотности лесных насаждений в зоне катастрофы вследствие пожаров [5, 6]. Другим возможным объяснением является предположение о том, что вещество Тунгусского космического тела (ТКТ) могло стимулировать рост растений в зоне катастрофы [6]. В пользу последнего предположения свидетельствуют результаты микроэлементного и изотопного анализов, показавших наличие в образцах почвы и торфа повышенной концентрации некоторых редкоземельных элементов, которые могли бы способствовать ускоренному росту деревьев в этом районе [6]. Однако ничего, или почти ничего, неизвестно об ускоренном росте деревьев далеко за пределами зоны непосредственного разрушения. Для проверки этого эффекта были обработаны все имеющиеся данные из Международного дендрохронологического банка, а также собственные хронологии, собранные на полуострове Таймыр [16] (всего 68 древесно-кольцевых хронологий). Анализ дендрохронологических данных, приведенных на рис.1, свидетельствует о зна-

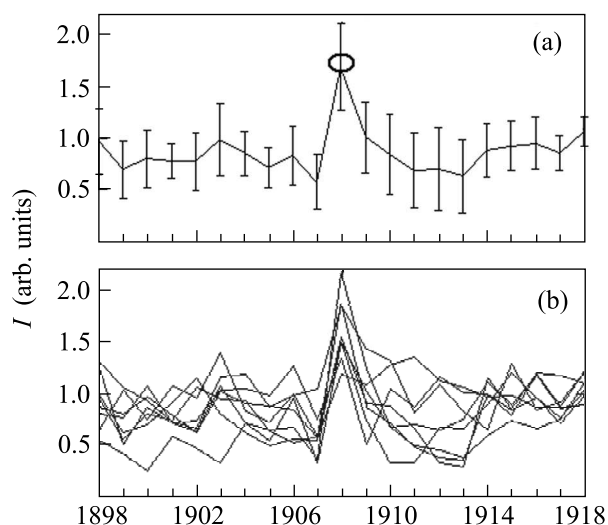


Рис.1. (а) Усредненная хронология изменчивости радиального прироста (средней ширины годичных колец) на территории (60–75° с.ш., 90–110° в.д.) (1898–1918 гг.); (б) древесно-кольцевые хронологии, по которым производилось усреднение. 99%-ные доверительные интервалы нанесены вертикальными линиями

чительном (112%) увеличении древесного прироста в 1908 г. по отношению к среднему значению за предыдущие 10 лет. Для каждого усредненного значения годичного прироста ширины колец рассчитыва-

лись 99%-ные доверительные интервалы при помощи критерия Стьюдента [17].

Увеличение годичного прироста деревьев зафиксировано далеко за пределами зоны разрушения и охватывает огромную территорию (60–75° с.ш., 90–110° в.д.). В зоне, расположенной на 10° западнее, увеличение годичного прироста деревьев снижается до 70% относительно средней величины. За пределами этой зоны эффект исчезает. Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что в 1908 г. наблюдался ускоренный прирост деревьев на громадной территории Сибири (60–75° с.ш., 80–110° в.д.) по площади превышающей на три порядка зону Тунгусской катастрофы (см. рис.2). Ранее сообщалось об аномальном росте деревьев лишь в зоне, подвергнутой непосредственному разрушению. Аналогичный эффект, но в меньших масштабах, впервые был обнаружен после взрыва Чулымского болида, который наблюдался 26 февраля 1984 г. в Красноярском крае (57.7° с.ш., 85.1° в.д.) [18]. Мощность взрыва составила 11 кт в тротиловом эквиваленте, что несоизмеримо по величине с энергией взрыва Тунгусского болида [18]. Анализ имеющихся дендрохронологических данных (38 древесно-кольцевых хронологий) показал, что значительный прирост (50–63%) наблюдался в 1985 г. на больших расстояниях (более 1000 км) от зоны катастрофы (55–75° с.ш., 80–100° в.д.), см. рис.3.

В качестве одной из основных причин радиального годичного прироста деревьев рассматривается увеличение летней температуры воздуха [16]. Для исключения этого эффекта были проанализированы имеющиеся данные о летних температурах воздуха для двух исследуемых событий. Выяснилось, что летом 1908 г. хотя и наблюдалось незначительное (до 9%) повышение летней температуры воздуха по данным метеостанции г. Киренска (57.8° с.ш., 108.1° в.д.) в районе исследований, но это вряд ли могло стать причиной аномального (более 100%) годичного древесного прироста (см. рис.4). Летом 1985 г. было зафиксировано даже некоторое снижение температуры воздуха по сравнению с предыдущим годом. Таким образом, климатические вариации, которые могли бы стать причиной наблюдаемого увеличения радиального прироста деревьев в 1908 и в 1985 гг., можно исключить. В качестве основных причин ускоренного роста деревьев после Тунгусского взрыва рассматривались уменьшение плотности лесных насаждений и озонение почвы вследствие пожаров в зоне катастрофы [5, 6]. Но этими причинами нельзя объяснить распространение этого эффекта далеко за пределы зоны разрушений.

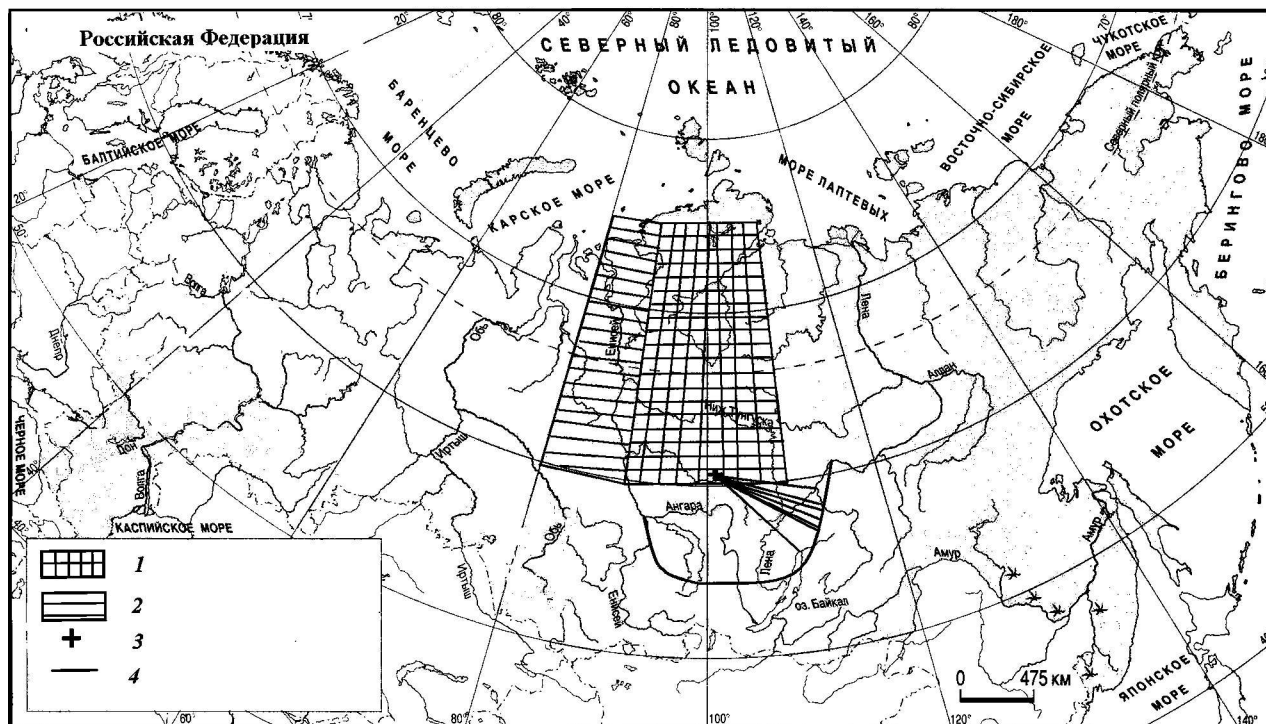
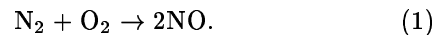


Рис. 2. Зона наблюдения ускоренного роста деревьев после падения Тунгусского космического тела (ТКТ): территория, где величина прироста по отношению к среднему за предыдущие 10 лет значению составила 112% и 70%, соответственно, – 1, 2; эпицентр взрыва – 3; предполагаемые траектории полета и зона наблюдения оптических явлений, сопровождающих полет ТКТ [6]

Обнаруженный эффект можно было бы связать с распылением кометного вещества на больших площадях. Именно действием ионизированного пылевого хвоста кометы на верхние слои атмосферы Земли, или прохождением Земли через облако космической пыли, объясняются аномальные оптические явления, наблюдавшиеся в атмосфере над обширной территорией России и северо-западной Европы за несколько дней до и после Тунгусской катастрофы [6, 19]. Поиски распыленного вещества Тунгусского тела привели к открытию двух зон, обогащенных космической пылью, одна из которых находится непосредственно в эпицентре катастрофы, а другая расположена в 80 км к северо-западу от него [20]. Физико-химический анализ образцов, взятых из района Тунгусской катастрофы, позволил обнаружить повышенное содержание некоторых редкоземельных элементов в смоле и кольцах деревьев, соответствующих 1908 г., которые могли бы стимулировать рост растений [5, 21]. Радиоуглеродный анализ указывает на повышенное содержание изотопа радиоуглерода ^{14}C в древесных кольцах, соответствующих 1908 г. в образцах, отобранных непосредственно из зоны катастрофы и на расстоянии более 700 км к юго-западу от

нее [5]. Правда, автор [5] связывает обнаруженную в 1908 г. аномалию с минимумом 11-летнего цикла солнечной активности. Наши результаты показывают, что область усиленного роста деревьев охватывает огромную территорию и в обоих случаях почти на три порядка превышает зону катастрофы. Возможно, обнаруженное увеличение древесного прироста было вызвано выпадением на землю соединений азота, сыгравших роль удобрений [1]. Окислы азота образуются в атмосфере при пролете болида в результате сжатия воздуха за фронтом ударной волны [1]:



Количество NO, образующееся в атмосфере при пролете болида, пропорционально величине энергии, передаваемой атмосфере, и составляет примерно 7 г на 10^6 Дж [1]. Затем NO превращается в NO_2 , который реагирует с водой с образованием соединений HNO_2 и HNO_3 , выпадающих на Землю в виде кислотных дождей [22]. По некоторым оценкам при падении Тунгусского метеорита образовалось 30 млн. т окисла азота [23]. По оценкам образцов торфа из зоны Тунгусской катастрофы [22], на площади вывала леса выпало примерно 200000 т азота, остатки азо-

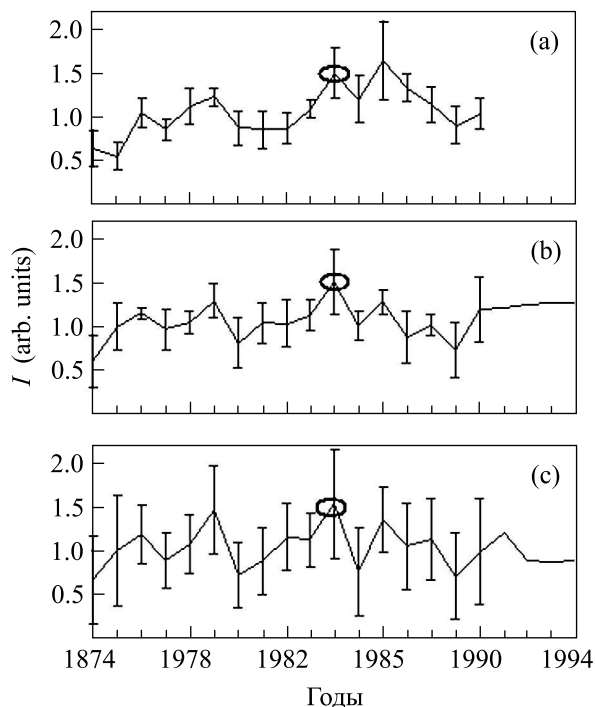


Рис. 3. Усредненные хронологии изменчивости радиального прироста (1974–1994 гг.) на территории: (а) 55–75° с.ш., 80–90° в.д.; (б) 55–75° с.ш., 90–100° в.д., (с) 55–75° с.ш., 100–110° в.д.. 99%-ные доверительные интервалы нанесены вертикальными линиями

та распространились на обширной территории вместе с воздушными массами. Преимущественное распространение зоны ускоренного роста деревьев на запад от эпицентра Тунгусской катастрофы вполне можно объяснить тем, что летом над всем северным полушарием с высоты около 20 км господствует восточный ветер [24]. Если использовать соотношение (1) для случая Чулымского болида, то при мощности взрыва 11.2 кт тнт [18] (1 кт тнт (килотонна тротилового эквивалента) = $4.185 \cdot 10^{12}$ Дж), могло выделиться до 300 т NO, что на пять порядков ниже количества окисла азота, выделившегося при взрыве Тунгусского болида. Вместе с тем, зона ускоренного роста деревьев после вторжения Чулымского болида всего в два раза меньше по площади аналогичной зоны, связанной с падением Тунгусского объекта. Данное несоответствие было бы довольно трудно интерпретировать в рамках традиционных классических представлений, не принимая во внимание эффект воздействия “сверхмалых” доз или концентраций на биологические системы. Эффективность воздействия микродоз физических факторов и химических агентов на открытые динамические системы различного рода, в том числе и биологические, находящиеся в неравно-

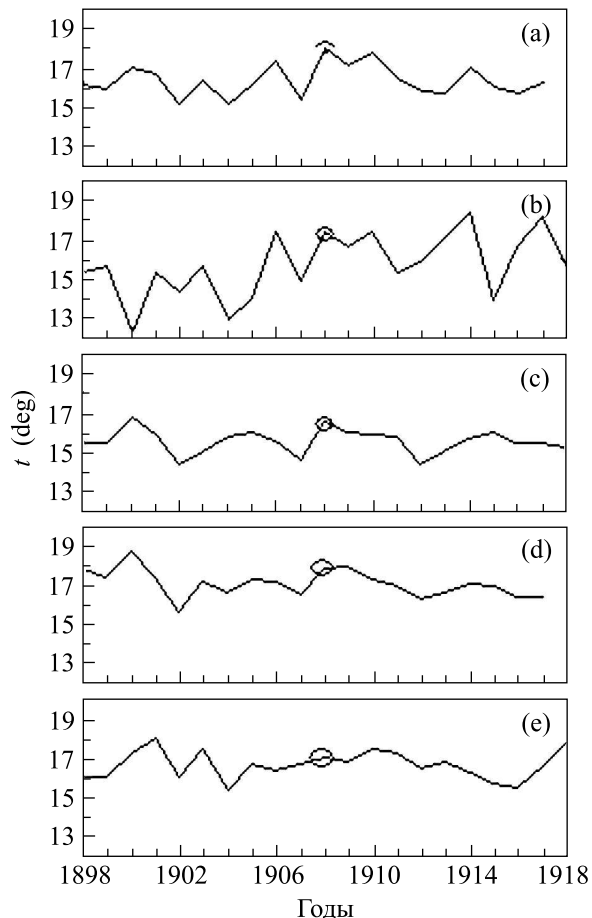


Рис. 4. Вариации летней температуры воздуха (1898–1918 гг.) по данным метеостанций: (а) Киренск (57.8° с.ш., 108.1° в.д.); (б) Вилюйск (63.8° с.ш., 121.6° в.д.); (с) Иркутск (52° с.ш., 104° в.д.); (д) Улан-Удэ (52° с.ш., 108° в.д.); (е) Чита (52.1° с.ш., 113.5° в.д.)

весном состоянии, уже доказана [25–27]. Еще одним возможным объяснением обнаруженного ускоренного роста деревьев может служить увеличение потока ультрафиолетовой радиации из-за разрушения озонового слоя, вызванного пролетом болида в атмосфере Земли [23, 28].

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что экологические последствия падения на Землю небесных тел (комет и астероидов) могут быть гораздо более значительными, чем считалось ранее. Полученные результаты открывают также новые возможности применения дендрохронологического метода для решения актуальных проблем астероидно-кометной опасности (каталогизация событий, оценка траектории и зоны воздействия и др.).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований

(грант # 05-04-97528) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Биоразнообразие и динамика генофондов”, подпрограмма “Состояние и ресурсно-экологический потенциал наземных экосистем Северной Евразии в условиях глобальных изменений”.

1. *Угроза с неба: рок или случайность?* Под ред. А. А. Боярчука, М.: Космосинформ, 1999.
2. О. Аткинсон, *Столкновение с Землей*, С.-Петербург: Амфора, 2001.
3. M. G. L. Baillie, *The Holocene* **4**, 212 (1994).
4. E. Rigby, M. Symonds, and D. Ward-Thompson, *Astronomy and Geophysics* **45**, 123 (2004).
5. V. D. Nesvetajlo, *Planet. Space Sci.* **46**, 155 (1998).
6. N. V. Vasilyev, *Planet. Space Sci.* **46**, 129 (1998).
7. С. И. Голенецкий, С. Г. Малахов, В. В. Степанюк, *Астрон. вестник* **15**, 226 (1981).
8. Б. А. Яковлев, *Изв. Всес. геогр. общ.* **5**, 419 (1991).
9. В. Г. Фесенков, *Метеоритика* **26**, 3 (1965).
10. F. Hoyle and N. C. Wickramasinghe, *Astrophys. Space Sci.* **268**, 333 (1999).
11. J. Kissel and F. R. Krueger, *Nature* **326**, 755 (1987).
12. D. K. Lynch, R. W. Russel, and M. L. Sitko, *Icarus* **159**, 234 (2002).
13. M. N. Mautner, A. J. Conner, K. Killham, and D. W. Deamer, *Icarus* **129**, 245 (1997).
14. M. N. Mautner, *Astrobiology* **2**, 59 (2002).
15. L. A. Frank, J. B. Sigwarth, and C. M. Yeates, *Astron. Astrophys.* **228**, 522 (1990).
16. G. Jacoby, N. V. Lovelius, O. I. Shumilov et al., *Quaternary Research* **53**, 312 (2000).
17. И. Н. Ниमेंья, *Статистика*, С.-Петербург: Нева, 2004.
18. В. М. Овчинников, И. П. Пасечник, *Метеоритика* **47**, 10 (1988).
19. В. А. Бронштэн, *Земля и Вселенная* **4**, 49 (1979).
20. Н. В. Васильев, С. А. Разин, *Земля и Вселенная* **6**, 37 (1978).
21. G. Longo, R. Serra, S. Cecchini, and M. Galli, *Planet. Space Sci.* **42**, 163 (1994).
22. E. M. Kolesnikov, N. V. Kolesnikova, and T. Boettger, *Planet. Space Sci.* **46**, 163 (1998).
23. R. P. Turco, O. B. Toon, C. Park et al., *Science* **214**, 19 (1981).
24. Л. Т. Матвеев, *Физика атмосферы*, С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 2000.
25. Г. Николис, И. Пригожин, *Познание сложного*, М.: Мир, 1990.
26. Г. Хакен, *Синергетика*, М.: Мир, 1985.
27. Е. Б. Бурлакова, А. А. Конрадов, Е. Л. Мальцева, *Химическая физика* **22**, 21 (2003).
28. В. А. Бронштэн, *Земля и Вселенная* **5**, 77 (2003).