

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Институт экологии растений и животных УрО  
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова

---

# **ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ В ГОЛОЦЕНЕ**

**МАТЕРИАЛЫ ВТОРОЙ РОССИЙСКОЙ  
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

12–14 октября 2010 года

ЕКАТЕРИНБУРГ  
2010

УДК 574.4 (061.3) + 551.794

**Динамика экосистем в голоцене:** материалы Второй Росс. науч. конф. / [отв.ред. Н.Г. Смирнов]. Екатеринбург; Челябинск: Рифей, 2010. 260 с.

В сборнике представлены материалы Второй Российской конференции «Динамика современных экосистем в голоцене», проходившей в 2010 году в г. Екатеринбурге в Институте экологии растений и животных УрО РАН. Тематика работ охватывает широкий круг вопросов состояния отдельных элементов экосистем, их состава и структуры, а так же динамики в связи с природными и антропогенными факторами. Часть работ посвящена палеоклиматическим реконструкциям голоцена и методическим вопросам. Сборник предназначен для специалистов и всех интересующихся историей природы и человека за последние 10 тыс. лет. Материалы сборника публикуются в авторской редакции.

Ответственный редактор:  
чл.-корр. РАН Н.Г. Смирнов

Редакционная коллегия:  
П.А. Косинцев, Н.О. Садыкова, Е.П. Изварин, Г.В. Быкова

*Проведение конференции и публикация сборника выполнены при финансовой поддержке РФФИ № 10-04-06129-г.*

ISBN 978-5-88521-170-3

© ИЭРиЖ УрО РАН, 2010  
© Оформление. Издательство  
«Рифей», 2010

## КЛИМАТОГЕННАЯ ДИНАМИКА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ПОЛТОРЫ ТЫСЯЧИ ЛЕТ

---

В.С. МАЗЕПА, С.Г. ШИЯТОВ

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург*

E-mail: mazepa@ipae.uran.ru, stepan@ipae.uran.ru

*Ключевые слова: голоцен, верхняя граница леса, динамика притундровых редколесий, древесно-кольцевой анализ, Полярный Урал.*

В последние десятилетия существенно возрос интерес научной общественности к изучению реакции наземных экосистем и их отдельных компонентов на изменения климата. Оценки экологических последствий современного потепления, которое началось в конце XIX столетия, крайне важны. Глобальная годовая температура воздуха за последнее столетие повысилась в среднем на 0.6°C (IPCC, 2007). Наиболее сильные годовичные и многолетние изменения температуры наблюдаются в высоких широтах, поэтому для решения этой проблемы важно в первую очередь исследовать северные экосистемы (Kullman, 1990). Все биологические явления и процессы в высоких широтах обострены и проявляются более рельефно, чем в иных типах зональных ландшафтов. Основным климатическим фактором, лимитирующим продуктивность видов и сообществ, является низкая температура воздуха, приводящая к сокращению вегетационного периода.

Исследованиям лесотундровых и лесолуговых растительных сообществ в высокогорьях уделяется значительное и заслуженное внимание (Holtmeier, 2003). В условиях Крайнего Севера древесная растительность произрастает на пределе своего распространения, и влияние климатических факторов, в частности температуры, на функционирование лесотундровых экосистем чрезвычайно велико. Накапливается все больше свидетельств о том, что потепление климата приводит к увеличению продуктивности, густоты и сомкнутости древостоев, а также к заселению древесной растительностью ранее безлесных территорий (Шиятов, Мазепа, 2007). Отчетливо эти процессы прослеживаются в районах, экстремальных для произрастания древесной растительности (полярная и верхняя граница леса), где климатические факторы оказывают решающее влияние на рост и развитие древесных растений (Körner, 1999).

Поскольку лесные сообщества играют исключительно большую роль в круговороте биогенного вещества и стабилизации условий внешней среды, проблема изучения динамики древесной растительности под влиянием изменений климата приобрела фундаментальное научное и важнейшее социально-экономическое значение.

Надежным методом, позволяющим оценивать длительные изменения характеристик древостоев во времени и в пространстве, является изучение возрастной структуры как ныне живущих, так и усохших древостоев, остатки которых сохранились до настоящего времени. Важно, чтобы было зафиксировано точное место произрастания и определено время жизни каждого дерева. Обычно такая работа проводится на постоянных высотных профилях и пробных площадях.

Восточный макросклон Полярного Урала и бассейн р. Соби является одним из наиболее перспективных районов для проведения таких работ. Территория исследования практически не была подвержена воздействию интенсивной хозяйственной деятельности человека. Верхняя граница леса в этом районе представлена в основном лиственничными редколесьями (*Larix sibirica*) различной плотности.

На более низких высотах в качестве примеси произрастают ель сибирская (*Picea obovata*) и береза извилистая (*Betula tortuosa*). Произрастают также ольховник (*Du-shokia fruticosus*) и некоторые виды ивы (*S. lanata*, *S. philicifolia*).

В течение последнего тысячелетия в экотоне верхней границы леса происходили значительные естественные пространственно-временные изменения в связи долговременными изменениями климатических условий (Mazera, 2005). Свидетельством тому — огромное количество хорошо сохранившихся остатков погибших деревьев на дневной поверхности даже на 60–80 м выше современной границы леса, т.е. в настоящее время на безлесных участках. Возраст остатков достигает до полутора тысяч лет. Основное количество остатков сосредоточено в экотоне верхней границы леса (от 100 до 450 м над у.м.), а сохранились эти остатки благодаря низкой скорости разложения древесины в суровых климатических условиях. Многочисленные исследователи (Сукачев, 1922; Городков, 1926; Сочава, 1927; Андреев, 1935; Шиятов, 1986) наблюдали на Полярном Урале огромное количество хорошо сохранившихся остатков погибших деревьев. Эти деревья являются свидетелями положения верхней границы редколесий в прошлом. Палеоэкологическая информация в годичных кольцах давно погибших деревьев обладает высоким разрешением, как в пространстве, так и во времени, обеспечивая уникальную возможность восстановить историю фактических изменений в структуре и продуктивности древостоев.

На шести непрерывных высотных профилях, длиной от 240 до 1000 м и шириной от 20 до 80 м, были закартированы все остатки деревьев (около 2500) и с них взяты поперечные спилы для определения календарного времени жизни дендрохронологическим методом. Для удобства картирования все профили разбиты на квадраты 20×20 м, в углах которых установлены каменные столбики.

На рисунке 1 показано календарное время жизни погибших и часть ныне живущих лиственниц, произраставших в пределах всех профилей. Оказалось, что самые древние остатки датируются V в. н.э. А произрастали они на высоте около 390 м над у.м. Таких остатков осталось немного, так как большая часть их сгнила или сохранились небольшие кусочки древесины, которые невозможно было датировать дендрохронологическим методом. Еще меньшее количество древней древесины в нижней части профилей связано с тем, что она здесь перегнивает быстрее в связи с более благоприятными микроклиматическими условиями и обрастанием валежа растительной дерниной.

Из рисунка 1 хорошо прослеживаются три основных поколения. Первое поколение сформировалось в XI–XII столетиях и было наиболее многочисленным. Особенно много древесины этого периода сохранилось в верхних частях профилей. Второе поколение сформировалось в конце XVI–начале XVII столетий. Основная масса древесины деревьев этого поколения сосредоточена в средних и нижних частях профилей. В верхних частях профилей встречаются лишь одиночные деревья второго поколения. Третье поколение представлено живыми деревьями, которые появились в XX столетии. На рисунке (верхний левый угол) представлено время жизни лишь части живых деревьев, так как их много (более 4500), особенно в нижних частях профилей. По фитоценоотическому типу здесь произрастают сомкнутые леса.

По результатам датировки остатков деревьев и определения возраста у молодых лиственниц была произведена реконструкция динамики верхней границы распространения редколесий за последние 1500 лет (рис. 2). С начала V и до конца XII в. происходило непрерывное поднятие верхней границы редколесий с 380 до 420 м над ур. м. Наиболее высокое положение эта граница занимала в течение всего XIII и в начале XV вв. В пределах экотона верхней границы леса произрастали наиболее густые древостои, несмотря на то, что не вся древесина отмерших

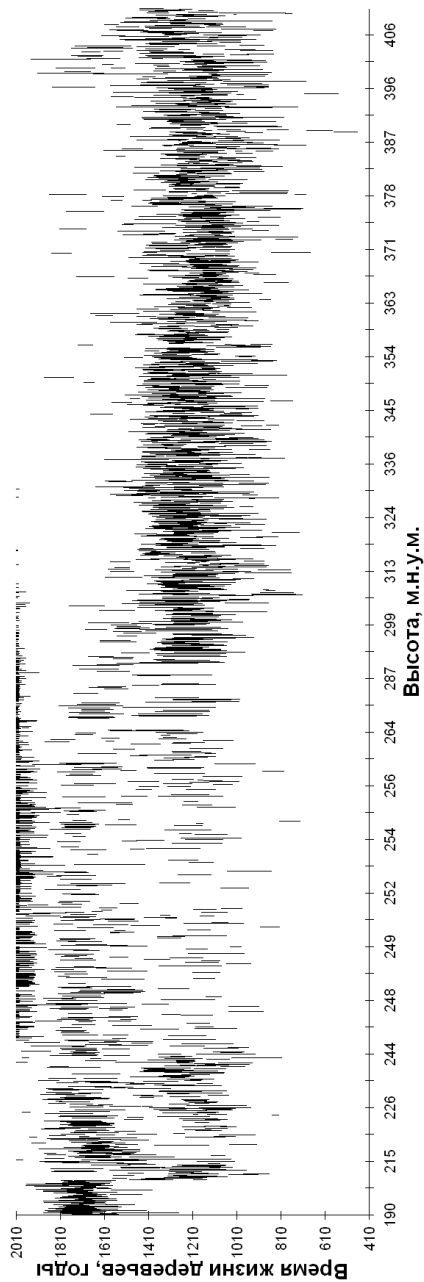


Рисунок 1. Распределение времени жизни отмерших и живых деревьев по календарному времени за последние 1500 лет.

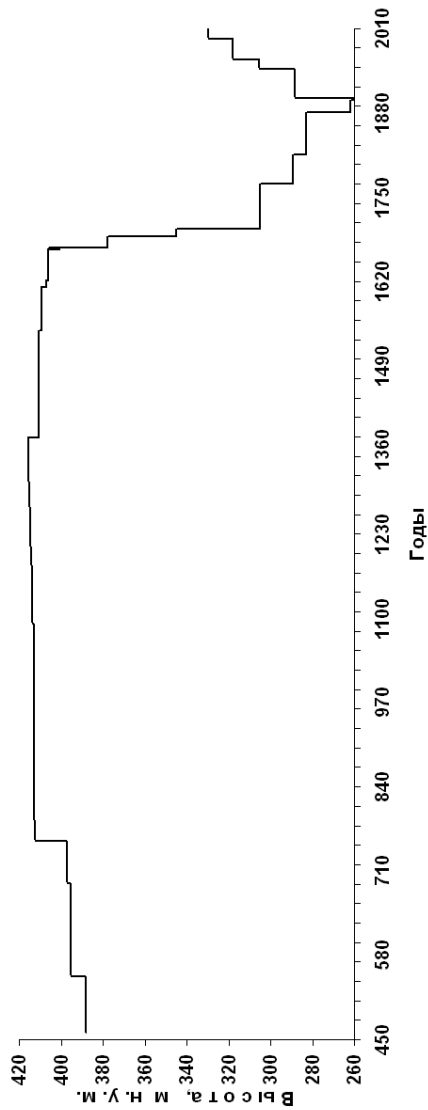


Рисунок 2. Динамика верхней границы распространения лиственных редколесий за последние 1500 лет.

деревьев сохранилась до настоящего времени. Об этом свидетельствует сравнение густоты древостоев на изученных профилях. На профилях, заложенных выше современной границы леса, условия для перегнивания древесины менее благоприятные. Данные о времени жизни деревьев здесь показывают наличие более густых древостоев по сравнению с профилями на более низком гипсометрическом уровне. Впоследствии подобной густоты древостой достигали и на этих профилях, но лишь в XVII–XVIII вв.

После XIV столетия началось массовое отмирание деревьев и снижение верхней границы редколесий вплоть до начала XX в. Наиболее интенсивное снижение этой границы наблюдалось в XVII и XIX вв. Наблюдалось сильное изреживание древостоев. Снижение верхней границы редколесий было неравномерным во времени. Во второй половине XVII и большей части XVIII столетия происходила стабилизация границы леса за счет формирования ныне перестойного поколения лиственницы.

Ситуация изменилась на противоположную в 1920-х годах, когда стал появляться жизнеспособный подрост, но граница леса еще не достигла тех высотных уровней, которые она занимала в XIII столетии. В настоящее время за счет появления молодого поколения лиственницы происходит формирование густых и продуктивных древостоев (Шиятов, 2009). Более подробные сведения о величине и скорости смещения верхней границы редколесий на одном из склонов можно найти в работе (Shiyatov, 2003).

Сдвиги верхней границы леса отражают длительные изменения теплообеспеченности вегетационного периода, потепление климата в Средние века, похолодание во время Малой ледниковой эпохи и современное потепление, начавшееся на Полярном Урале в начале XX в. (Шиятов, Мазепа, 2007). Синхронно с высотными изменениями верхней границы редколесий происходили длительные изменения в структуре и продуктивности древостоев лесотундровых сообществ.

На основе аллометрических соотношений между диаметром модельных деревьев и фитомассой абсолютно сухого вещества различных фракций и данных о накапливающихся диаметрах у живых и отмерших деревьев на профилях была получена оценка продукционного процесса. Результаты изменения фитомассы древесного яруса в целом для профилей за последние 800 лет приведены на рисунке 3. Для лучшего восприятия и выявления длительных трендов в изменении фитомассы древостоев фактические данные до начала XX в. представлены через каждые 100 лет, а для современного периода — через 40–60 лет. Фактическая фитомасса для каждого оцениваемого периода являлась суммой фитомасс ныне живых и отмерших деревьев. Хорошо видно, что за рассматриваемый промежуток времени наблюдалось три максимума и два минимума в изменении фитомассы. Первый максимум наблюдался в XIII в., второй — в XVII–XVIII вв., а третий — в XX в. Минимальные запасы фитомассы древостоев на профилях были в XV–XVI и XIX вв. Необходимо отметить, что оценка запасов фитомассы для наиболее древних отрезков времени является несколько заниженной, так как не была учтена фитомасса деревьев, полностью сгнивших, а также деревьев, от которых остались небольшие и сильно перегнившие остатки. Как указывалось выше, мелкие остатки древесины, содержащие небольшое число годичных колец, трудно или невозможно датировать при помощи дендрохронологического метода.

Важнейшим результатом этой работы является выявление длительных трендов в изменении продуктивности древостоев в связи с изменением климатических условий. Для подтверждения этого на рисунке 3 показаны годовые и вековые

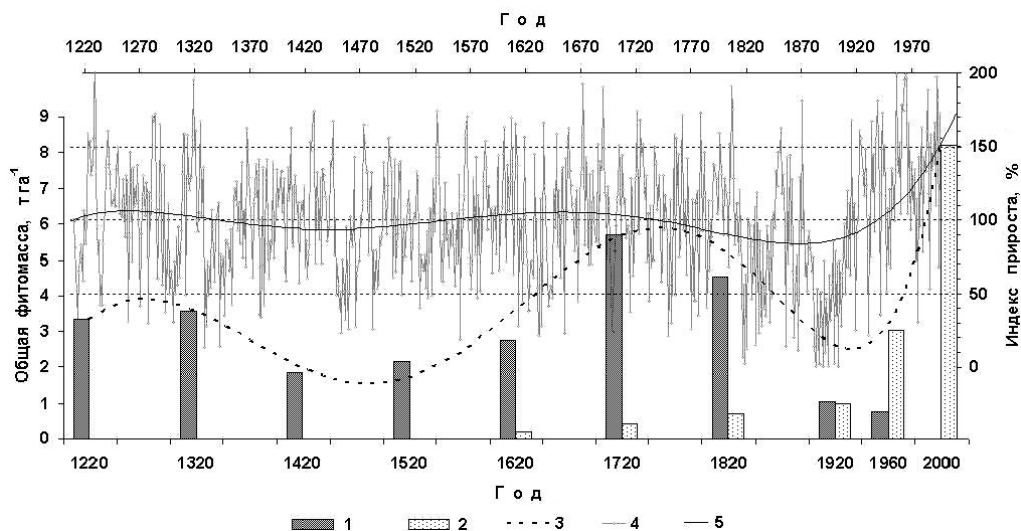


Рисунок 3. Динамика фитомассы древесного яруса на профиле I за последние 800 лет. 1 — оценка фитомассы по отмершим деревьям, 2 — оценка фитомассы по живым деревьям, 3 — тренд изменения фитомассы, 4 — погодичные колебания индексов радиального прироста лиственницы, 5 — тренд изменения индексов прироста.

изменения индексов прироста лиственницы в районе исследований, которые отражают динамику термического режима летних месяцев (Ваганов и др., 1998). Отчетливо видно, что тренды изменения фитомассы и индексов прироста синхронны, что свидетельствует об однонаправленности этих процессов. Как было показано выше, синхронно изменялось высотное положение верхней границы редколесий и густота древостоев. Это свидетельствует о том, что все эти процессы взаимосвязаны и определяются изменением общего фактора, независимо от местоположения древостоев в пределах экотона верхней границы леса и почвенно-грунтовых условий. Такими факторами могут быть только климатические, в частности, термический режим летних месяцев. Имеется много данных по изменению климата, полученных с использованием прямых и косвенных источников информации, свидетельствующих о том, что в Северной Евразии происходили сходные длительные изменения климатических условий (АСИА, 2005). В средние века (VIII–XIII вв.) наблюдалось повсеместное потепление климата, которое сменилось похолоданием — так называемым малым ледниковым периодом. Наши данные свидетельствуют о том, что на Полярном Урале оно началось в самом конце XIII в. и продолжалось вплоть до начала XX в. При этом самым холодным был XIX в.

Современное потепление климата, начавшееся в 1920-х годах и продолжающееся до настоящего времени, привело к интенсивной экспансии древесной растительности в горные тундры, значительному повышению продуктивности древостоев, продвижению верхней границы леса выше в горы на 40–60 м, увеличению степени облесенности экотона верхней границы леса в 2 раза.

Отсутствие свидетельств лесных пожаров, антропогенного и техногенного влияния на древостои лиственницы, отсутствие признаков других катастрофических явлений в районе исследования указывают на то, что динамика лесов — в основном результат изменений климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10–04–01484), ГК 02.740.11.0279, программы Президиума РАН 09-П-4–1004, программы ОБН РАН 09-Т-4–1005.

## ЛИТЕРАТУРА

- Андреев В.Н.* Растительность и природные районы восточной части Большеземельской тундры // Тр. Полярной комиссии АН СССР. М., 1935. Вып. 22. С. 3–97.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Хантемиров Р.М., Наурызбаев М.М.* Изменчивость летней температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария за последние 1.5 тыс. лет: сравнительный анализ данных годовичных колец деревьев и ледовых кернов // Докл. РАН. 1998. Т. 358. № 5. С. 681–684.
- Городков Б.Н.* Полярный Урал в верхнем течении р.Соби // Тр. Ботан. музея АН СССР. М., 1926. Вып. 19. С. 1–74.
- Сочава В.Б.* Ботанический очерк лесов Полярного Урала от р. Нельхи до р. Хулги // Тр. Ботан. музей АН СССР. М., 1927. Вып. 21. С. 1–71.
- Сукачев В.К.* К вопросу об изменении климата и растительности на севере Сибири в послетретичное время // Метеоролог. вестн. 1922. Т. 22. № 1–4. С. 25–43.
- Шиятов С.Г.* Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
- Шиятов С.Г.* Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 216 с.
- Шиятов С.Г., Мазена В.С.* Климатогенная динамика лесотундровой растительности на Полярном Урале // Лесоведение. 2007. № 6. С. 11–22.
- Arctic Climate Impact Assessment. Cambr. Univ. Press: Cambridge, N. Y., Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, San Paulo, 2005. 1042 p.
- Holtmeier F.-K.* Mountain Timberlines. Ecology, Patchiness, and Dynamics. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academ. Publishers, 2003. 369 p.
- IPCC, Climate Change 2007: Mitigation // Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge, United Kingdom and New York. N.Y., 2007, 851 pp.
- Körner Ch.* Alpine Plant Life. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. 343 p.
- Kullman L.* Dynamics of altitudinal tree-limits in Swiden: a review // Nor. Geogr. Tidsskr. 1990. V. 44. P. 103–116.
- Mazepa V.S.* Stand density in the last millennium at the upper tree-line ecotone in the Polar Ural Mountains // Can. J. For. Res. 2005. V. 35. P. 2082–2091.
- Shiyatov S.G.* Rates of change in the upper treeline ecotone in the Polar Ural Mountains // PAGES News. 2003. V. 11. № 1. P. 8–10.