

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
СИБИРСКИЙ ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ РАСТЕНИЙ СО РАН  
ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА СО РАН  
БАЙКАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ БИОСФЕРНЫЙ  
ЗАПОВЕДНИК  
при участии  
UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM LEIPZIG –HALLE GMBH (UFZ), GERMANY**

## **НОВЫЕ МЕТОДЫ В ДЕНДРОЭКОЛОГИИ THE NEW METHODS IN THE DENDROECOLOGY**

**Материалы Всероссийской научной  
конференции с международным участием  
Russian scientific conference with international participants**

**Иркутск  
Издательство Института географии им. В.Б.Сочавы СО РАН  
2007**

УДК 630.18

ББК 43

Н76

Конференция проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 07 – 04 – 06040)

**Новые методы в дендрэкологии:** Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Иркутск, 10-13 сентября 2007 г.). – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б.Сочавы СО РАН, 2007. – 199 с.

**The new methods in the dendroecology.** Russian scientific conference with international participants (Irkutsk, 10-13 September, 2007). – Irkutsk: V.B.Sochava Institute of Geography SB RAS, 2007. – 199 p.

На конференции проведен критический анализ современной методологии и методов дендрэкологии, предложены новые методы изучения отдельных биологических объектов (биофизические, физиологические и др.) и новые мультидисциплинарные методы в исследовании лесных экосистем. Ряд материалов посвящен математической интерпретации и способам представления результатов экологических исследований и моделированию.

В работе конференции приняли участие ученые из различных регионов Российской Федерации, а также Германии и Швейцарии.

*Ответственные редакторы*

доктор биологических наук В.И.Воронин,

кандидат биологических наук В.А.Осколков

Утверждено к печати Ученым советом  
Сибирского института физиологии и биохимии  
растений СО РАН

ISBN 978-5-94797-117-0

© Сибирский институт физиологии и  
биохимии растений СО РАН, 2007

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСОТУНДРОВЫХ СООБЩЕСТВ В ВЫСОКОГОРЬЯХ УРАЛА

С.Г. ШИЯТОВ<sup>1</sup>, В.В. ФОМИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, e-mail: stepan@ipae.uran.ru

<sup>2</sup>Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, e-mail: fomval@gmail.com

## USING THE NEW METHODS FOR STUDYING OF THE SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF FOREST-TUNDRA COMMUNITIES IN THE URAL HIGHLANDS

S.G. SHIYATOV<sup>1</sup>, V.V. FOMIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, e-mail: stepan@ipae.uran.ru

<sup>2</sup>Ural State Forestry Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: fomval@gmail.com

### SUMMARY

The presentation deals with methodological approaches which were used for studying of the spatio-temporal dynamics of forest-tundra communities growing within the treeline ecotone in the Ural highlands. The main approaches are: the method of permanent altitudinal transects (continuous and discontinuous), thematic vegetation mapping, analysis of old and recent landscape and remote sensing imageries, dendrochronological dating and dendroclimatic reconstructions, geographic information systems (GIS-technologies) and raster based modeling.

Важной проблемой дендрэкологии является изучение пространственно-временной динамики лесных сообществ различного уровня организации под влиянием естественных и антропогенно обусловленных изменений условий среды. При этом особую значимость приобретает получение количественных данных об их динамике за возможно более длительные интервалы времени, выявление относительной роли различных факторов, разработка пространственно-временных и экологически обоснованных моделей динамики лесных сообществ. Одной из актуальных задач является изучение их климатогенной динамики, особенно тех, которые произрастают в экстремальных климатических и почвенно-грунтовых условиях (полярная, верхняя и южная границы леса, заболоченные, каменистые и засоленные местообитания).

В докладе излагаются методические подходы, которые были использованы нами при изучении пространственно-временной динамики лесотундровых сообществ, произрастающих в высокогорьях Урала. Эти сообщества не испытывают существенного антропогенного воздействия, динамика их определяется в основном изменениями климатических условий. На всем протяжении Урала древесный ярус лесотундровых сообществ представлен одними и теми же видами (*Larix sibirica*, *Picea obovata*, *Abies sibirica*, *Pinus sibirica*, *Betula tortuosa*). Это намного облегчает изучение их климатогенной динамики и сопоставление полученных данных.

Если по временной динамике лесных сообществ (в основном возрастной и восстановительной), имеется обширная литература, то по пространственной динамике, т.е. по величине и скорости смещения границ пространственных единиц растительного покрова (фитоценоз), фактических данных мало. Применительно к лесотундровым сообществам, контактирующим с горными тундрами, данные об их пространственном смещении позволяют судить о длительных (вековых) изменениях климатических условий.

Для получения фактических данных об изменении состава, структуры и продуктивности лесотундровых сообществ, а также о величине и скорости смещения границ лесотундровых фитоценозов мы использовали комплекс методов, основными из которых являются метод высотных профилей, тематическое картирование растительности, дендрохронологическое датирование и дендроклиматические реконструкции, анализ старых

и современных фотоизображений, географические информационные системы (ГИС-технологии) и растровое моделирование.

Нами закладывались два типа постоянных высотных профилей в пределах экотона верхней границы древесной растительности (ЭВГ): непрерывные и прерывистые. Под ЭВГ мы понимаем переходную полосу растительности в горах между верхней границей распространения сомкнутых лесов и верхней границей распространения одиночных деревьев в тундре).

Наиболее ценная информация получена на непрерывных профилях длиной до 1 км и шириной 40-80 м, которые были разбиты на квадраты размером 10 x 10 или 20 x 20 м. В каждом квадрате производили картирование и измерение морфометрических показателей у всех живых деревьев и подроста, а также у сухостоя и валежа. С каждого живого дерева брались буровые образцы древесины, а с отмерших деревьев спилы для определения возраста и календарного времени их жизни при помощи дендрохронологических методов. Кроме того, профиль разбивался на однородные по почвенному покрову и древостоем выделы. Такие высотные профили были заложены также на склонах, где сохранились лишь остатки отмерших деревьев (сухостоя и валежа). На Полярном Урале такие остатки сохраняются длительное время и это дало нам возможность произвести детальную реконструкцию динамики структуры древостоев и верхней границы древесной растительности за последние 1000–1350 лет (Shiyatov, 2003; Mazera, 2005). Закладка непрерывных высотных профилей хотя и требует много времени и сил, однако получаемая информация о пространственно-временной динамике лесотундровых сообществ уникальна по объему и содержанию. К настоящему времени на Полярном Урале заложено 7 таких профилей.

В течение последних 5-6 лет в различных природных провинциях Урала было заложено свыше 15 прерывистых профилей. Они закладывались также в пределах ЭВГ. При этом выбиралось 3-5 высотных уровней, которые характеризовались различной структурой и продуктивностью лесотундровых сообществ (от одиночных деревьев в тундре до сомкнутого древостоя) и на каждом уровне закладывались 3-5 постоянных пробных площадок размером 20 x 20 м, на которых было произведено детальное описание различных ярусов растительности и почвы. Все деревья и крупный подрост были пронумерованы, зарисованы, измерены их морфометрические характеристики и взяты буровые образцы древесины для определения возраста. За пределами пробных площадок были взяты модельные деревья для оценки структуры надземной и подземной фитомассы. Прерывистые профили дают ценную информацию о составе, структуре и запасах органического вещества в надземной и подземной сферах и будут полезны в дальнейшем для оценки происходящих изменений. К настоящему времени в высокогорьях Южного, Северного и Полярного Урала заложено 15 таких профилей.

Важная информация о пространственно-временной динамике лесотундровых экосистем была получена нами при тематическом крупномасштабном картировании и описании самых верхних лесотундровых сообществ в пределах отдельных гор и массивов. Эта работа была начата нами 40 – 50 лет тому назад. Суть ее состоит в том, что прокладывались маршруты вдоль верхней границы леса и производилось глазомерное описание состава и структуры самых верхних лесотундровых фитоценозов с одновременным нанесением на карту как их фронтальной границы, так и боковых границ. Определялся экологический тип верхней границы леса (термический, ветровой, курумный и т. д.) и направление господствующих ветров (по кронам деревьев). В последние годы мы начали проводить оценку изменений, которые произошли в составе, структуре и высотном положении самых верхних лесотундровых фитоценозов в течение последних 40-50 лет, проводя повторные описания и замеры по тем же маршрутам. Такая работа проведена на Северном Урале (Тылайско-Конжаковско-Серебрянском массив) и Южном Урале (массив Ирмель) (Капралов и др., 2006). Если раньше фронтальное и боковое положение границ самых верхних фитоценозов определялось при помощи барометрического нивелирования и

топографической карты, то в настоящее время используются оцифрованные топографические карты и GPS-приемники.

Важная методическая работа выполнена нами на восточном макросклоне Полярного Урала, где для ЭВГ были созданы крупномасштабные карты распределения различных типов лесотундровых сообществ на начало 1910-х, 1960-х и 2000-х годов на площади свыше 60 км<sup>2</sup>. Для создания этих карт применялся наземный способ картирования и глазомерного описания с использованием аэрофотоснимков и оцифрованной топокарты М 1:25 000. Реконструкция состава и структуры древостоев на начало и середину XX столетия была произведена на более чем 900 выделах при помощи анализа возрастной структуры лиственничных древостоев (преимущественно ступенчато- и циклично разновозрастных), знаний по приросту и запасам древесины и широкому использованию изображений на старых ландшафтных фотоснимках. Эти карты позволили количественно оценить изменения в структуре лиственничных древостоев, в сдвигах границ фитоценозов и степени облесенности территории за последние 90 лет, которые произошли в результате потепления и увлажнения климата (Шиятов и др., 2005).

Следует подчеркнуть важность и перспективность использования изображений на старых ландшафтных фотоснимках, которые позволяют оценивать изменения морфометрических показателей отдельных древостоев и крупных массивов леса, а также сдвиги границ фитоценозов. Нахождение прежних точек съемки в горных районах, где преобладают открытые ландшафты, больших трудностей не представляет. Такие фотоснимки незаменимы в качестве иллюстрационного материала. Мы также имеем положительный опыт использования самых ранних космических снимков (1963 г.) для оценки сдвигов границ фитоценозов и сомкнутости (густоты) древостоев на Полярном Урале (Kharuk et al., 2002).

Неоценимую помощь в реконструкции возрастной структуры древостоев и климатических условий оказывают дендрохронологические методы. Они позволяют датировать календарное время жизни как ныне живущих, так и отмерших деревьев и тем самым реконструировать многие параметры современных и ранее существовавших древостоев, а также изменение границ фитоценозов (Shiyatov, 2003; Mazepa, 2005). Высокогорные древесно-кольцевые хронологии чувствительны к изменению климатических условий, в частности к изменению термических условий летних месяцев и это часто единственный и надежный способ получения климатической информации с высоким разрешением для конкретного района. Большую помощь в выявлении основных факторов, определяющих состав и структуру древесного яруса, особенно первые этапы лесовозобновления, оказывают микроклиматические наблюдения, осуществляемые при помощи термолоттеров.

Современные геоинформационные технологии позволяют на количественном уровне анализировать пространственно-временную динамику растительных сообществ. С использованием геоинформационной системы ARC/INFO на базе описанных выше материалов были созданы тематические карты лесотундровой растительности на Полярном Урале (Шиятов и др., 2005). На основе картографических материалов, полученных в результате полевых исследований в середине XX в. и начале XXI в., были созданы электронные карты высотного положения верхних границ криволесий и редколесий на Тылайско-Серебрянско-Конжаковском массиве (Северный Урал) (Капралов и др., 2006) и массиве Ирмель (Южный Урал).

Нами разработан алгоритм количественной оценки вертикального и горизонтального сдвигов фронтальных границ фитоценозов с использованием растрового моделирования в ГИС (Шиятов и др., 2007). Наложение границ в начале и конце исследуемого временного интервала на цифровую модель рельефа позволяет получить распределения высот. Сопоставлением стандартных статистик данных распределений оценивается величина вертикального сдвига. Для оценки горизонтального сдвига используется следующая процедура. От линии, характеризующей положение фронтальной границы фитоценозов в

начале исследуемого периода, рассчитываются буферные области, границы каждой из них удалены на определенное расстояние, кратное ячейке раstra цифровой модели рельефа. В результате выполнения данной процедуры, получается слой, содержащий буферные области, последовательно сменяющие друг друга. После наложения на него фронтальной границы фитоценохоры в конце исследуемого периода, каждой ячейке границы, соответствует ячейка буферного слоя, содержащая величину горизонтального смещения. Стандартные статистики распределения горизонтального смещения используются для количественной оценки сдвига границы.

Функциональность геоинформационных систем позволяет исследовать на количественном уровне пространственные закономерности распределения растительных сообществ в зависимости от действия экологических факторов. Нами проведено исследование взаимосвязи отдельных характеристик лесотундровых экосистем и экологических факторов в районе исследований на Полярном Урале. На основе цифровой модели рельефа были рассчитаны растры, содержащие информацию о поступлении прямой солнечной радиации, индекса топографического положения, экспозиции и крутизны склона.

По данным метеорологических станций, расположенных на территории Урала были рассчитаны карты распределения усредненных по десятилетиям градусо-дней. На основе созданных ранее тематических карт были получены растровые покрытия, содержащие информацию о типе ценохоры, гидрологическом режиме, высоте снежного покрова и ветровом режиме.

Нами также был проведен факторный анализ для выявления и количественной оценки ведущих экологических факторов, определяющих состав и структуру лесотундровых экосистем на Полярном Урале. Было выявлено четыре основных фактора, объясняющих 75% варибельности данных: ветровой режим, температурный режим, условия увлажнения и прямая солнечная радиация. Факторы перечислены в порядке уменьшения величины факторной нагрузки. Высокое значение факторной нагрузки, параметра, характеризующего ветровой режим, позволяет утверждать, что в районе исследований преобладает ветровой тип верхней границы леса.

Исследования проведены при финансовой поддержке фондов: INTAS (грант 01-0052), РФФИ (гранты: 05-04-48466, 06-04-49359), а также технической поддержке ООО "Дата+" – официального представителя производителей программного обеспечения ESRI Inc. (США) и Leica Geosystems (США).

## ЛИТЕРАТУРА

*Капралов Д.С., Шиятов С.Г., Моисеев П.А., Фомин В.В.* Изменения в составе, структуре и высотном положении мелколесий на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала // *Экология*, 2006. - № 6. - С. 403-409.

*Шиятов С.Г.* Опыт использования старых фотоснимков для изучения смены лесной растительности на верхнем пределе ее произрастания // *Флористические и геоботанические исследования на Урале.* – Свердловск: ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, 1983. - С. 76-109.

*Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В.* Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале // *Экология*, 2005. - № 2. – С. 83-90.

*Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В., Циммерманн Н.Е.* Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на Полярном Урале // *Экология*, 2007. - № 4 (в печати).

*Kharuk V.I., Shiyatov S.G., Kashishke E., Fedotova E.V., Naurzbaev M.M.* Forest-tundra ecotone response to climate change // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем.* Том XVIII, Санкт-Петербург: Гидрометеониздат, 2002. - С. 234-260.

*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.

*Moiseev P.A., Shiyatov S.G.* Vegetation dynamics at the treeline ecotone in the Ural highlands, Russia // *Ecological Studies, Alpine Biodiversity in Europe*, 2003. – V. 167. – P. 423-435.

*Shiyatov S.G.* Rates of change in the upper treeline ecotone in the Polar Ural Mountains // *PAGES News*, 2003, - V. 11, No 1. – P. 8-10.