

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЛЕСОТУНДРОВЫХ СООБЩЕСТВ НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ

© 2005 г. С. Г. Шиятов, М. М. Терентьев, В. В. Фомин

*Институт экологии растений и животных УрО РАН  
620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202*

Поступила в редакцию 10.10.2004 г.

На Полярном Урале в пределах экотона верхней границы древесной растительности изучена пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ в XX в. Созданы карты распространения различных типов лесотундровых сообществ и получены данные о морфологической и возрастной структуре древостоев для трех временных срезов (начало 1910-, 1960- и 2000-х годов). Установлено значительное увеличение площади редколесий и сомкнутых лесов за счет облесения тундр и увеличения густоты и продуктивности ранее существовавших древостоев. Однонаправленный характер смен растительных сообществ (от тундры к сомкнутому лесу), а также анализ климатических данных свидетельствуют о том, что эти смены обусловлены наблюдавшимся в течение последних 90 лет потеплением и увлажнением климата.

Ключевые слова: экотон верхней границы древесной растительности, пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ, геоботаническое картирование, потепление климата, географическая информационная система.

В настоящее время изучению пространственно-временной динамики лесотундровых и лесолуговых сообществ в высокогорьях уделяется исключительно большое внимание в связи с необходимостью оценки их реакции на современные и будущие изменения климата (Kullman, 1990; Kogner, 1999; Bugmann, Pfister, 2000; Holtmeier, 2003; Shiyatov, 2003). Особый интерес представляют высокогорные сообщества, произрастающие в высоких широтах, так как в этих районах наблюдаются наиболее существенные изменения климатических условий (Изменение климата, 2001 г., 2003).

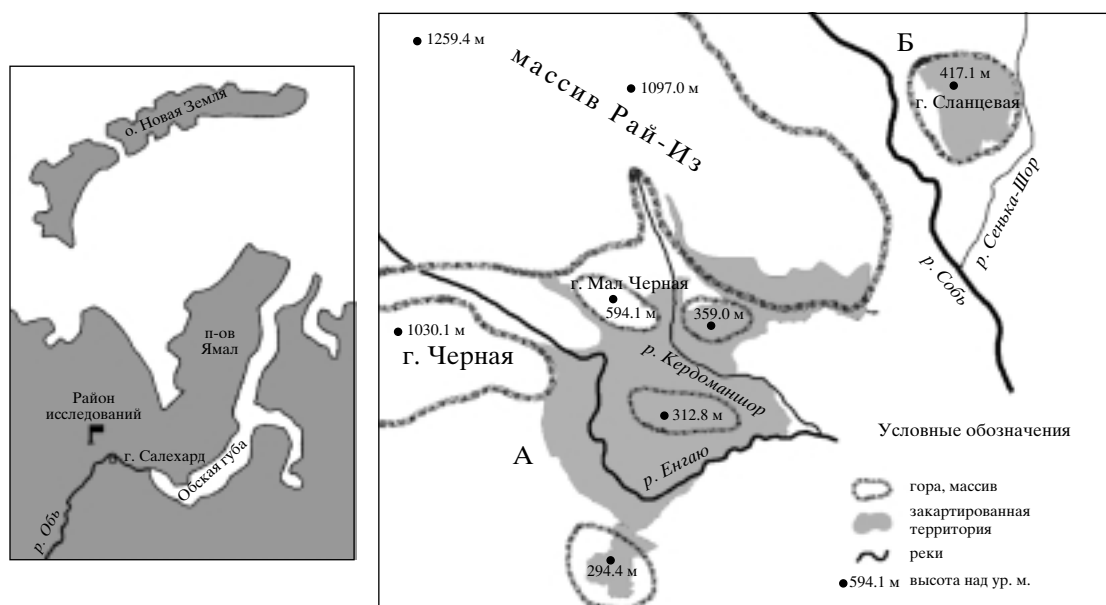
Одним из наиболее перспективных горных районов для изучения реакции биоты на изменения климата является Полярный Урал (Шиятов, 1965; Шиятов и др., 2002; Shiyatov, 2003). Для этого района характерна сильная изменчивость климатических условий различной длительности (Шиятов, 1986), а высокогорная растительность не испытывает существенных антропогенных воздействий. На верхней границе леса произрастают простые по составу древостои, состоящие в основном из лиственницы сибирской, что немного облегчает изучение их климатогенной динамики. Кроме того, в течение последних 40–50 лет по этому району накоплен большой материал, характеризующий состав и структуру лесотундровой растительности, что дает возможность использовать прямые свидетельства для оценки происшедших изменений.

Для того чтобы количественно оценить изменения в составе, структуре и пространственном распределении лесотундровых сообществ, которые произошли на Полярном Урале в течение последних 90 лет, мы произвели крупномасштабное наземное картирование и описание лесотундровых сообществ, произрастающих в пределах экотона верхней границы древесной растительности (ЭВГДР). Под термином ЭВГДР мы понимаем, согласно Х. Кёрнеру (Kogner, 1999), переходный пояс растительности в горах между верхней границей распространения одиночных деревьев в тундре и верхней границей распространения сомкнутых лесов. Этот экотон занимает более широкую полосу по сравнению с подгольцовым поясом, так как в него входит нижняя часть горнотундрового пояса, где одиночно произрастают древесные растения.

В настоящей работе приводятся результаты изучения смен одних типов лесотундровых сообществ другими за последние 90 лет под влиянием потепления и увлажнения климата. Вопросы, связанные с изменениями в составе и структуре древостоев, детально не рассматриваются.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований расположен на восточном макросклоне Полярного Урала, в бассейне р. Соби ( $66^{\circ}46' - 66^{\circ}55' \text{ N}$ ,  $65^{\circ}22' - 65^{\circ}49' \text{ E}$ ). Господству-



**Рис. 1.** Карта-схема района исследований. Серым цветом отмечена закартированная территория: А – район массива Рай-Из и гор Черной и Мал. Черной, Б – район горы Сланцевой.

ющее положение по площади и высоте занимает перидотитовый массив Рай-Из, который простирается почти в широтном направлении от р. Соби на востоке до р. Макара-Рузь на западе (рис. 1). Наиболее возвышенная часть массива представлена обширным плато, высота которого колеблется от 800 до 1100 м над ур. м. В его северной части имеется несколько острых пиков, достигающих высоты 1260–1290 м. Вдоль южной оконечности Рай-Иза тянется полоса горных образований различной высоты, сложенных габбро. Наиболее высокими из них являются г. Черная (1030 м) и г. Мал. Черная (594 м). Кроме того, на некотором удалении от массива Рай-Из и г. Черной тянется цепь пологих сопок высотой 294, 312 и 359 м. В долинах рек Енгаю и Кердоманшор, берущих начало в северной части Рай-Иза, имеются обширные поля моренных отложений последнего горно-долинного оледенения, которые содержат большое количество озер различной величины. Северные и восточные склоны массива Рай-Из окружают горы высотой от 400 до 880 м, сложенные кристаллическими сланцами (Сланцевая, Яр-Кеу, Поур-Кеу). Гора Сланцевая, где проводились картографические работы, отделена от массива Рай-Из долиной р. Соби и состоит из трех вершин высотой 363, 412 и 417 м.

Район исследований расположен в пределах южной части зоны лесотундры. На горных склонах выражены следующие пояса растительности: горно-таежный, подгольцовый, горно-тундровый и пояс холодных гольцовых пустынь (Горчаковский, 1975). В пределах ЭВГДР преобладают чистые лиственничные (из *Larix sibirica*) лесотундровые

сообщества. В нижней части экотона встречаются лиственничные редколесья и леса с примесью ели сибирской (*Picea obovata*) и березы извилистой (*Betula tortuosa*).

Картографические работы проводились в 2000–2004 гг. На местности определялись границы лесотундровых выделов, однородных по составу и структуре древесного яруса и напочвенному покрову, а также по основным параметрам микроклиматических и почвенно-грунтовых условий. При нанесении границ выделов использовались топографические карты М 1 : 25 000, а также черно-белые и цветные аэрофотоснимки М 1 : 25 000–1 : 40 000. Минимальный размер выдела составлял 30 × 30 м. К настоящему времени у подножия гор Черной и Мал. Черной, на южном склоне массива Рай-Из и горе Сланцевой закартирована территория площадью 5407 га. На рис. 1 она обозначена серым цветом.

Описание современной и прошлой лесотундровой растительности производилось по разработанной нами методике. В первую очередь для каждого выдела определялся тип лесотундрового сообщества. Применительно к району и объектам исследований в качестве основных фитоценологических типов были приняты следующие: тундра с одиночными деревьями, редины, редколесья и сомкнутые леса. Для отнесения конкретного фитоценоза к тому или другому фитоценологическому типу использовали густоту древостоя, которую оценивали через среднее расстояние между деревьями. Применительно к лиственничным сообществам Полярного Урала мы разработали следующие приержки отнесения лесотундровых

сообществ к тому или другому типу: к сомкнутому лесу относили сообщества, в которых среднее расстояние между деревьями составляет менее 7–10 м, к редколесьям – от 7–10 до 20–30 м, к рединам – от 20–30 до 50–60 м, а к тундре с одиночными деревьями – свыше 50–60 м. Наличие перекрытия в расстояниях между перечисленными выше типами сообществ обусловлено размерами деревьев. Если на участке произрастают крупные и старые деревья, то использовали максимальные значения (10, 30 и 60 м для сомкнутого леса, редколесья и редины соответственно).

Для каждого выдела производилось глазомерное определение состава и структуры современной растительности, а также основных микроклиматических и почвенно-грунтовых условий (режим увлажнения и снегонакопления, ветровой режим, каменистость, экспозиция и крутизна склона). Определяли следующие морфометрические характеристики древостоя: среднюю высоту и диаметр, среднее расстояние между деревьями, сомкнутость крон, процентное соотношение форм роста деревьев, запас стволовой древесины, наличие подроста. Особое внимание уделяли оценке возрастной структуры древостоя. Как показали ранее проведенные исследования (Шиятов, 1965), для лиственничных редколесий Полярного Урала характерна ступенчатая возрастная структура, обусловленная вековыми циклическими колебаниями климата. Современные древостои состоят из перестойного (310–370 лет), средневозрастного (150–220 лет) и молодого (до 80–90 лет) поколений, которые достаточно хорошо различаются по морфологическим признакам (диаметру, высоте, форме кроны). Всего было закартировано и описано свыше 900 выделов.

Кроме того, для каждого выдела производилась реконструкция состава и структуры древостоя на начало 1910-х и 1960-х годов. Первый временной срез характеризует окончание холодного периода и начало формирования молодого поколения деревьев, а второй – начало интенсивных исследований лесотундровых сообществ в этом районе (Шиятов, 1965). Реконструкция производилась на основе анализа морфологической и возрастной структуры древостоев, использования описаний и пересчетов на постоянных пробных площадях и профилях, заложенных в 1960–1962 гг. Особенно большую помощь оказал анализ изображений ландшафтных фотоснимков, сделанных 35–40 лет тому назад. Вклад каждого возрастного поколения деревьев оценивали для всех рассматриваемых временных срезов, что дало возможность получить данные о динамике древостоя в целом и отдельных возрастных поколений за последние 90 лет.

На основе использования геоинформационной системы (ГИС) ARC / INFO (ESRI Inc., США) и па-

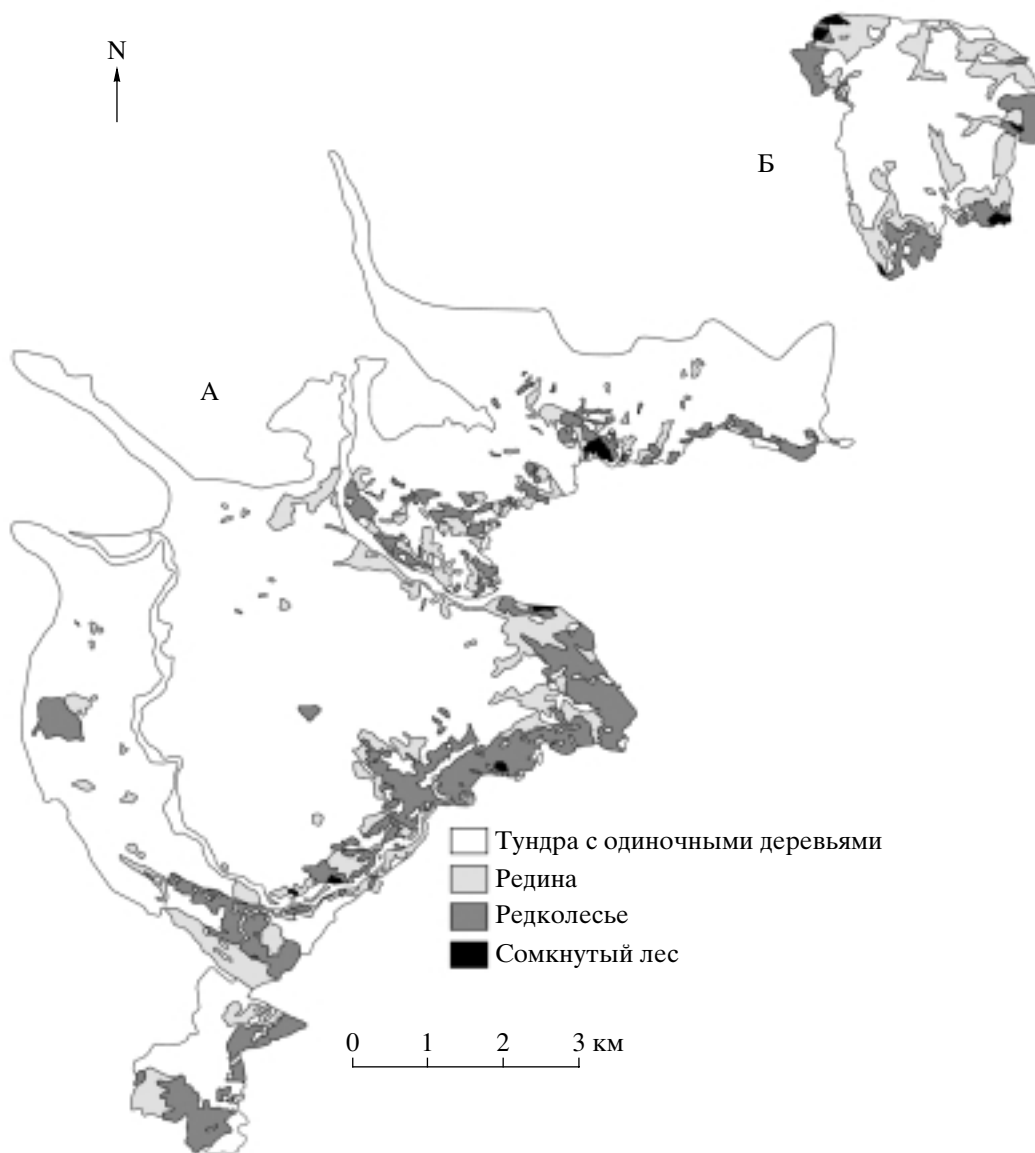
кета по обработке аэрокосмической информации ERDAS Imagine (ERDAS Inc., США) были созданы карты распространения различных типов лесотундровых сообществ для начала и середины XX в. и начала XXI в. Чтобы рис. 2–4 были более компактными, закартированная территория Б (г. Сланцевая) сдвинута ближе к территории А (массив Рай-Из). На основе топографической карты района исследований М 1:25 000 цифровым способом были созданы электронные покрытия, содержащие изолинии и отметки высот и объекты гидрологии. При помощи алгоритма TOPOGRID была создана гидрологически корректная цифровая модель рельефа местности (ЦМР), которую использовали при проведении ортотрансформации цветных спектральных снимков М 1 : 40 000, полученных в результате аэрофотосъемки 2002–2003 гг. После обработки снимков была получена мозаика изображений района исследований, которая использовалась для уточнения при оцифровке конфигурации выделов векторного покрытия в ГИС. Для каждого выдела были введены атрибутивные данные, содержащие описанную выше информацию.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2–4 представлено распределение различных типов лесотундровых сообществ в начале 1910-х, 1960-х и 2000-х гг. Водная поверхность (озера, реки) на этих картах не показана, чтобы не загромождать рисунки лишними деталями.

Верхняя граница ЭВГДР представляет собой линию, соединяющую самые верхние одиночные деревья различных форм роста (одноствольная, многоствольная, стланиковая), которые произрастают в настоящее время. Установить положение этой границы на середину и, особенно, на начало прошлого века невозможно из-за небольшой продолжительности жизни таких деревьев и трудности при определении их возраста. Поэтому мы приняли эту границу постоянной за весь рассматриваемый промежуток времени. Как видно из рис. 2–4, верхняя граница ЭВГДР очень извилиста. Длинными языками она заходит далеко в горы вдоль долин рек. Наиболее низкое положение верхней границы экотона наблюдается на сильно заболоченной и подверженной влиянию сильных ветров долине р. Енгаю (270 м), а наиболее высокое – на каменистом и защищенном от ветров восточном выступе массива Рай-Из (560 м). На горе Сланцевой одиночные деревья стланиковой формы роста произрастают на наиболее возвышенных участках, поэтому вершина этой горы целиком расположена в пределах экотона.

Нижняя граница ЭВГДР проходит по подножию южного склона массива Рай-Из, а южнее – по подножиям сопков, расположенных на удалении 3–5 км от гор Черной и Мал. Черной (рис. 1).



**Рис. 2.** Распределение различных типов лесотундровых сообществ в начале 1910-х годов: А – район массива Рай-Из и гор Черной и Мал. Черной, Б – район горы Сланцевой.

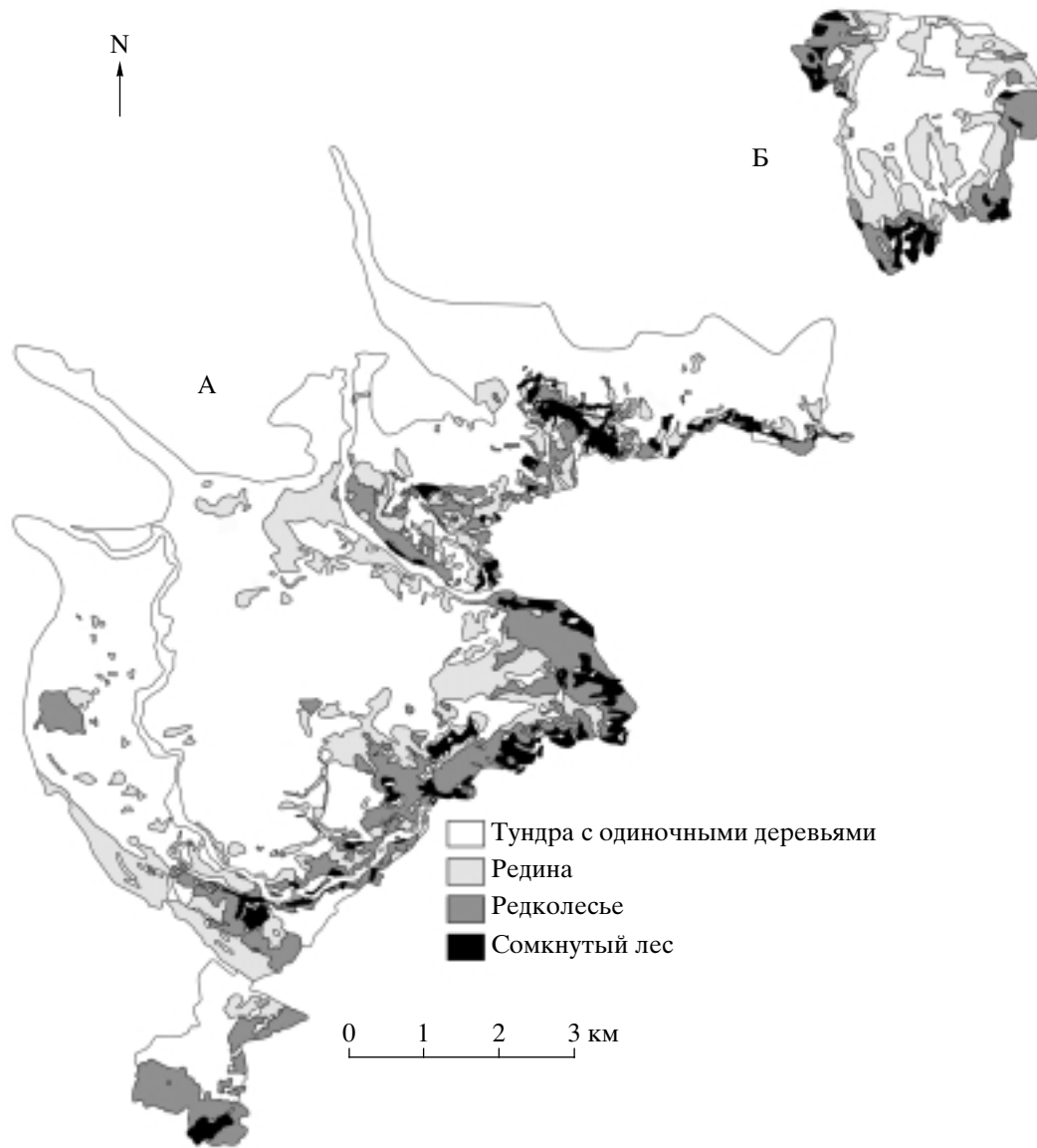
На западном и южном склонах горы Сланцевой эта граница достигает средней части склона. Диапазон высотного положения нижней границы ЭВГДР значительно меньше по сравнению с верхней границей и колеблется от 140 до 230 м.

Ширина экотона зависит в основном от ветровых условий и крутизны склона. Наибольших величин (7–9 км) она достигает в междуречье рек Енгаю и Кердоманшор, а наименьших – на восточной оконечности массива Рай-Из.

Сравнение рис. 2–4 показывает, что за последние 90 лет произошло значительное облесение экотона, которое выразилось в существенном увеличении площадей редколесий и сомкнутых лесов и сокра-

щению площади тундр как в первой, так и во второй половине прошлого века. На многих склонах произошло продвижение верхней границы распространения редины, редколесий и сомкнутых лесов выше в горы. Максимальное вертикальное смещение сомкнутого леса вверх по склону в междуречье рек Енгаю и Кердоманшор составило 80 м, редколесий и редины – 77 и 50 м соответственно. В связи с небольшой высотой горы Сланцевой и жестких ветровых условий на ее вершине вертикальное смещение этих границ здесь несколько меньше (35 м – для сомкнутого леса, 45–50 м – для редколесий и редины).

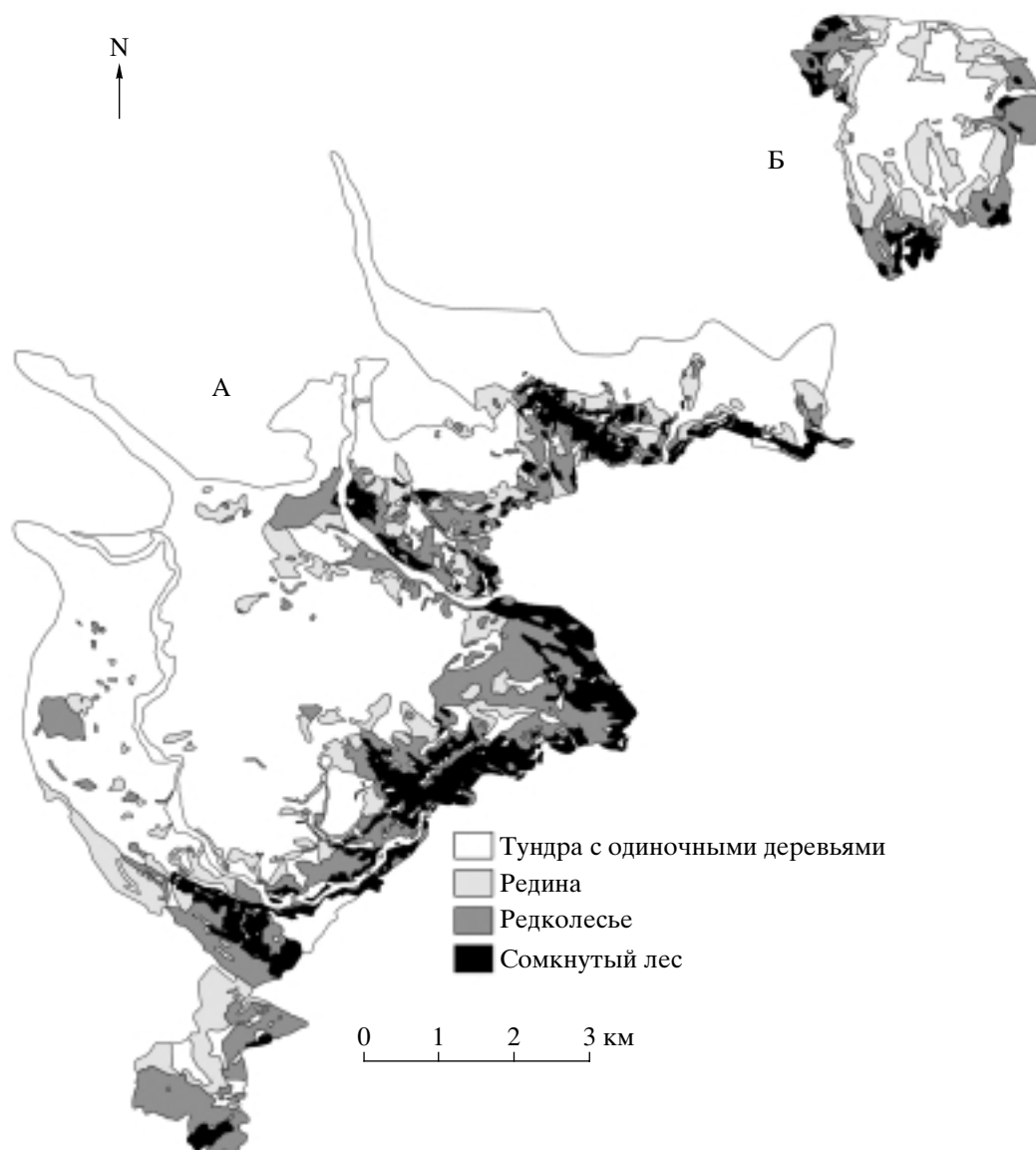
В табл. 1 приведены абсолютные и относительные величины площадей различных типов



**Рис. 3.** Распределение различных типов лесотундровых сообществ в начале 1960-х годов: А – район массива Рай-Из и гор Черной и Мал. Черной, Б – район горы Сланцевой.

лесотундровых сообществ в начале 1910-х, 1960-х и 2000-х годов. Следует обратить внимание на тот факт, что в течение всего рассматриваемого промежутка времени в пределах ЭВГДР преобладали площади, занятые тундрой с одиночно растущими деревьями. Это обусловлено наличием значительных площадей, особенно в верхней части экотона, неблагоприятных для произрастания древесной растительности, а также слабой их обеспеченностью семенным материалом. Однако за последние 90 лет площадь тундр сократилась почти на 1 тыс. га, их доля в общей площади экотона снизилась с 76 до 59%. Площадь, занятая рединами, изменялась своеобразно: в первой половине XX в. произошел скачкообразный рост

(с 642 до 950 га), а во второй половине XX в. площадь редин сократилась и в настоящее время лишь на 91 га превышает площадь, которую они занимали в начале века. Это связано с тем, что листовенничные редины перешли в категорию редколесий и сомкнутых лесов. Площадь редколесий увеличивалась более или менее равномерно – с 618 га в начале прошлого века до 951 га в настоящее время. Наиболее сильно изменилась площадь, занимаемая сомкнутыми лесами. Если в начале 1910-х годов на рассматриваемой территории было 12 небольших участков сомкнутых лесов, общая площадь которых составляла 22 га, то в настоящее время они занимают 534 га площади экотона. Другими словами, их площадь увели-



**Рис. 4.** Распределение различных типов лесотундровых сообществ в начале 2000-х годов: А – район массива Рай-Из и гор Черной и Мал. Черной, Б – район горы Сланцевой.

чилась почти в 25 раз (см. табл. 1). Особенно много сомкнутых лесов сформировалось на южном склоне массива Рай-Из (см. рис. 4), где условия для возобновления лиственницы наиболее благоприятны (слабое развитие живого напочвенного покрова на перидотитах и защищенность склонов от сильных ветров).

Из табл. 1 видно, что в течение последних 90 лет сократилась лишь площадь, занимаемая тундрой с одиночными деревьями. Все остальные типы лесотундровых сообществ расширили свой ареал. Интересно было выяснить, из каких типов сообществ сформировались современные сообщества. Для ответа на этот вопрос были произведены специальные расчеты, результаты которых

приведены в табл. 2. Анализ данных показывает, что чаще всего происходила трансформация тундры в редину, редины в редколесье, а редколесья в сомкнутый лес. В первой половине XX в. значительная площадь редины (581 га) сформировалась на территории, занимаемой ранее тундрами, 251 га редины перешли в категорию редколесий, а 186 га редколесий превратились в сомкнутые леса. Такие же тенденции наблюдались и во второй половине XX в. с той лишь разницей, что редколесья и сомкнутые леса сформировались на большей площади (453 и 286 га соответственно) по сравнению с рединой (245 га). В гораздо меньших масштабах происходила трансформация тундры в редколесье и сомкнутый лес, а редины в

сомкнутый лес (см. табл. 2). Как правило, переход тундр и редин в сомкнутый лес, минуя стадию редины и редколесья, происходил на участках, которые были хорошо обеспечены доброкачественными семенами лиственницы.

Во второй половине XX в. лишь на нескольких небольших участках произошла деградация древесного яруса. В результате сомкнутый лес на площади 2 га трансформировался в угнетенное редколесье и редину, а редколесье на площади 1 га – в редину. Все эти факты связаны с тем, что в последние десятилетия на данных участках началось отложение мощных сугробов снега (до 5–6 м) в связи с увеличением густоты и высоты древостоев, расположенных на наветренной стороне участка. Стволы и ветви, погребенные в слой снега,гибаются и ломаются. Кроме того, на таких участках сход снега задерживается на 2–3 недели, что сильно сокращает длительность вегетационного периода. Такие условия крайне неблагоприятны для произрастания деревьев, и они постепенно отмирают. Впоследствии на этом месте формируются тундровые и луговые сообщества.

Анализ приведенных в табл. 1 данных свидетельствует о том, что произошло значительное увеличение облесенности территории. Если в начале 1910-х годов площадь редин, редколесий и сомкнутых лесов составляла 1282 га, или 24% от площади ЭВГДР, то в начале 1960-х годов она увеличилась до 1944 га (36%), а в настоящее время составляет 2218 га (41%). Другими словами, степень облесенности экотона возросла почти в 2 раза.

Таким образом, в течение последних 90 лет в ЭВГДР происходила интенсивная смена лесотундровых сообществ в направлении от тундры к сомкнутому лесу и увеличение облесенности территории. Однонаправленный характер этих смен на склонах различной экспозиции, а также в местобитаниях, различающихся почвенно-грунтовыми и микроклиматическими условиями, свидетельствует о том, что эти процессы проходили под воздействием общего фактора. Поскольку в районе исследований антропогенная нагрузка на лесотундровые сообщества до сих пор незначительная, то таким общим фактором может быть только климатический. Мы считаем, что экспансия древесной растительности связана с существенным улучшением температурных условий для произрастания древесной растительности. Подтверждением этому является анализ инструментальных данных по метеостанции Салехард за последние 120 лет, которая расположена в 55 км к востоку от района исследований. Согласно этим данным, в 1920-х годах произошли существенное потепление и увлажнение климата, которые продолжаются до настоящего времени. Температура летних месяцев (июня-августа) в 1883–1920 гг. со-

**Таблица 1.** Распределение и соотношение площадей, занятых различными типами лесотундровых сообществ

Тип лесотундрового сообщества	Начало 1910-х годов		Начало 1960-х годов		Начало 2000-х годов	
	га	%	га	%	га	%
Тундра с одиночными деревьями	4125	76	3464	64	3189	59
Редина	642	12	950	18	733	13
Редколесье	618	11	755	14	951	18
Сомкнутый лес	22	1	238	4	534	10
Итого	5407	100	5407	100	5407	100

**Таблица 2.** Матрицы переходов площадей (га), занятых различными типами лесотундровых сообществ (1 – тундра с одиночными деревьями, 2 – редина, 3 – редколесье, 4 – сомкнутый лес)

Временной срез	Тип сообщества	Начало 1910-х годов			
		1	2	3	4
Начало 1960-х годов	1	3464	–	–	–
	2	581	370	–	–
	3	72	251	432	–
	4	8	21	186	22
Начало 2000-х годов	Начало 1960-х годов				
	1	3189	–	–	–
	2	245	486	1	1
	3	29	453	468	1
4	1	11	286	236	

ставляла 10.7°С, в 1920–2004 гг. – 11.4°С, т.е. возросла на 0.7°С, а зимних месяцев (ноябрь-март) – на 1.1°С (с –20.8° до –19.7°С). Количество выпавших осадков в летние месяцы увеличилось на 32 мм (с 147 до 179 мм), а зимних – на 46 мм (с 67 до 113 мм).

Как показало сравнение реконструированных летних температур по ширине годовых колец лиственницы в разных районах Сибирской Субарктики (Ваганов и др., 1998), на Полярном Урале в XX в. происходило наиболее значительное потепление климата по сравнению с севером Западной Сибири и Таймыром. Существенное значение для интенсивной экспансии древесной растительности имело более раннее начало вегетационного периода, о чем свидетельствует значительное повышение температуры мая. Если в 1883–1920 гг. она составляла –2.4°С, то в 1920–2004 гг. –1.1°С, т.е. возросла на 1.3°С. Учитывая, что высотный градиент температуры летних месяцев для Полярного Урала составляет 0.7°С,

температурная граница, при которой возможно существование древесной растительности, поднялась выше в горы примерно на 100 м.

Однако на большинстве склонов древесная растительность не достигла своего климатически обусловленного предела в силу слабой обеспеченности семенами тундровых участков, расположенных в верхней части ЭВГДР. Раньше было показано (Шиятов, 1966), что в этом районе вылет семян лиственницы из шишек происходит лишь в июне-июле, когда отсутствует снеговой покров. Семена лиственницы разносятся ветром не далее чем на 40–60 м от плодоносящего дерева, и дальнейшее их распространение вверх по склону происходит в незначительных количествах. Поэтому многие пригодные для произрастания древесной растительности местообитания до сих пор остаются безлесными или слабооблесенными. С этой точки зрения можно объяснить, почему наиболее существенное облесение тундровых территорий и более интенсивная трансформация редкостойных древостоев в более густые произошли в нижней части ЭВГДР, где, кроме более благоприятных микроклиматических и почвенно-грунтовых условий, также лучшая обеспеченность семенами.

Одновременно с увеличением площадей, занятых редианами, редколесьями и сомкнутыми лесами, значительно увеличился прирост деревьев в высоту и по диаметру, а также возросли густота, сомкнутость крон и продуктивность древостоев. Существенно изменилось соотношение одноствольных, многоствольных и стланиковых форм роста деревьев. В нижней части экотона под пологом лиственничных древостоев наблюдается успешное возобновление ели сибирской. Эти материалы из-за ограниченного объема журнальной публикации здесь не рассматриваются, но их анализ также свидетельствует о значительном улучшении условий для произрастания древесной растительности.

На основе приведенных в этой работе материалов по пространственно-временной динамике различных типов лесотундровых сообществ Полярного Урала в связи с изменением климатических условий за последние 90 лет в настоящее время мы разрабатываем математические модели с использованием ГИС-технологий, которые позволят прогнозировать будущее развитие лесотундровых сообществ при различных сценариях изменения климата.

Работа выполнена благодаря финансовой поддержке РФФИ (гранты 99–04–48984 и 02–04–48148) и ИНГАС (грант 01–0052), а также технической поддержке ООО “ДАТА+” – официального представителя компаний производителей программного обеспечения ESRI и ERDAS (США).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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 годичных колец деревьев и ледовых кернов // Докл. РАН. 1998. Т. 358. № 5. С. 681–684.
- Горчаковский П.Л.* Растительный мир высокогорного Урала. М.: Наука, 1975. 283 с.
- Изменение климата, 2001 г. Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в подготовку Третьего доклада об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Ред. Р.Т. Уотсон. ВМО-ЮНЕП. Женева, 2003. 220 с.
- Шиятов С.Г.* Возрастная структура и формирование древостоев лиственничных редколесий на верхней границе леса в бассейне реки Соби (Полярный Урал) // География и динамика растительного покрова: Труды Ин-та биологии УФАИ СССР. 1965. Вып. 42. С. 81–96.
- Шиятов С.Г.* Время рассеивания семян лиственницы сибирской в северо-западной части ареала и роль этого фактора во взаимоотношении леса и тундры // Вопросы физиологии и геоботаники: Зап. Свердловского отд. ВБО. 1966. Вып. 4. С. 109–113.
- Шиятов С.Г.* Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука. 1986. 136 с.
- Шиятов С.Г., Мазена В. С., Чехлов О. Ю.* Изменения климата и динамика лесотундровых экосистем на Полярном Урале в XX столетии // Науч. вестн. 2002. Вып. 11. С. 28 – 35.
- Bugmann H., Pfister C.* Impacts of interannual climate variability on past and future forest composition // Reg. Environ. Change. 2000. № 1. P. 112–125.
- Holtmeier F.-K.* Mountain Timberlines. Ecology, Patchiness, and Dynamics. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. 2003. 369 p.
- Korner Ch.* Alpine Plant Life. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 1999. 343 p.
- Kullman L.* Dynamisc of altitudinal tree-limits in Sweden: A review // Norsk Geografisk Tidsskrift. 1990. В. 44. P. 103–116.
- Shiyatov S.G.* Rates of change in the upper treeline ecotone in Polar Ural Mountains // PAGES News. 2003. V. 11. № 1. P. 8–10.