

СОВРЕМЕННАЯ ЭКСПАНСИЯ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В ГОРНУЮ ТУНДРУ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

© 2015 г. С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа

Институт экологии растений и животных УрО РАН

620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

e-mail: stepan@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 10.04.2015 г.

На восточном макросклоне Полярного Урала (горный массив Рай-Из) детально проанализирована пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ, произрастающих в экотоне верхней границы древесной растительности, под влиянием вековых и внутривековых изменений климата. Особое внимание уделено изучению экспансии лиственницы сибирской в горную тундру в течение последних 110 лет в связи с потеплением и увлажнением климата в летний и зимний периоды. К настоящему времени верхняя граница произрастания древесной растительности еще не достигла тех высотных уровней, на которых она произрастала в Средние века в связи с кратковременностью благоприятного климатического периода и слабой обеспеченностью тундровых участков семенами лиственницы сибирской.

Ключевые слова: экотон верхней границы древесной растительности, климатогенная динамика лесотундровых сообществ, древесно-кольцевой анализ, возрастная структура и плотность древостоев, современные изменения климата, *Larix sibirica* Ledeb., Полярный Урал.

DOI: 10.7868/S0367059715060165

Изучению климатогенной динамики лесотундровых сообществ, произрастающих в экотоне верхней границы древесной растительности, уделяется значительное внимание (Шиятов и др., 2005; Капралов и др., 2006; Шиятов, 2009; Kullman, 1990; Körner, 1999; Kharuk et al., 2002; Holtmeier, 2003; Mazepa, 2005; Kiryanov et al., 2012; Hagedorn et al., 2014; Frost, Epstein, 2014). Целью этих исследований является необходимость оценки отклика лесотундровых и лесолуговых сообществ на современное потепление и увлажнение климата, начавшемся в конце XIX—начале XX вв. и продолжающегося до настоящего времени. Наиболее перспективны такие исследования в высокогорных и северных районах, где наблюдается высокая изменчивость климатических условий, а древесная растительность произрастает в экстремальных условиях. Кроме того, во многих из этих районов влияние антропогенных факторов сведено к минимуму.

В пределах Уральской горной страны динамика высокогорной древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания наиболее четко выражена на Полярном Урале, где в течение последнего тысячелетия происходили существенные изменения в ее составе, структуре и пространственном распределении. Наиболее пер-

спективным районом для изучения динамики древесной растительности является бассейн р. Соби, в частности подножия склонов массива Рай-Из и горы Черной, где выше современной верхней границы леса и под пологом современных редколесий сохранилось большое количество остатков давно отмерших деревьев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.).

В настоящей работе приведена количественная характеристика расселения и роста лиственницы сибирской за последнее столетие в бассейне р. Кер-Доман-Шор, у подножия юго-восточного склона горного массива Рай-Из. Характерная особенность этого участка склона площадью около 40 га — наличие большого количества хорошо сохранившихся остатков усохших лиственниц в верхней части экотона верхней границы древесной растительности (диаметр некоторых из них достигал 40 см).

МЕТОДИКА И ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

В 1983 г. на юго-восточном склоне массива Рай-Из была заложена высотная трансекта площадью 0.86 га в пределах полностью отмершего к концу XIX в. лиственничного редколесья. Тран-

секта начинается на высоте 340 м над ур. м., где сохранились наиболее высоко расположенные остатки отмерших деревьев в виде валежа и сухостоя, и заканчивается вблизи современной верхней границы редколесий (280 м над ур. м.). Ближайший небольшой островок лиственничного редколесья удален к юго-западу от трансекты на 200 м. Склон защищен от сильных зимних ветров, а мощность снегового покрова достигает 0.5–1.0 м. Произрастающие здесь деревья имеют одноствольную форму роста. Крутизна склона небольшая (7–8 град), его поверхность покрыта горно-тундровой почвой. Напочвенный покров представлен ерниково-осоково-разнотравной тундрой. Его сомкнутость составляет 60–70%. Мхи отсутствуют. Сомкнутость лишайникового покрова, состоящего в основном из кустистых видов, не превышает 20%. Площадь не покрытых растительностью щебнистых и земляных пятен около 15%. На этом склоне выражен термический тип верхней границы леса, поэтому здесь наблюдается постоянное смещение верхнего предела произрастания лесотундровых сообществ под влиянием вековых и внутривековых изменений климата.

Прямоугольная высотная трансекта длиной 430 м и шириной 20 м была разбита на 86 учетных площадок размером 10 × 10 м, по две площадки в ряду. В углах площадок установлены каменные столбики. Левый ряд столбиков пронумерован сверху вниз (от 1 до 44). Географические координаты верхнего левого угла трансекты следующие: 66°51'19" с.ш., 65°38'57" в.д., 340 м над ур. м., нижнего – 66°51'08" с.ш., 65°38'51" в.д., 280 м над ур. м.

В пределах трансекты в 1983 г. было закартированы и описаны 252 древесных остатка различной степени перегнивания и 19 живых лиственниц. С каждого древесного остатка были взяты поперечные спилы для определения календарного времени жизни деревьев при помощи дендрохронологического метода. Поскольку эти остатки находятся на месте их произрастания, представилась возможность реконструировать смещение верхних границ распространения лесотундровых сообществ с высокой степенью точности.

Одной из целей закладки трансекты было слежение за процессом формирования лесотундровых сообществ на тундровых участках, на которых до середины XIX в. произрастала древесная растительность. Такой процесс наблюдается в связи с улучшением лесорастительных условий, вызванных современным потеплением и увлажнением климата. На всех площадках трансекты в 1983, 2004 и 2014 гг. было произведено картирование и описаны появившиеся лиственницы. У каждой живой особи измеряли и определяли такие показатели, как высота, диаметр у основания ствола и на высоте 1.3 м, возраст, жизненность. В

2004 г., кроме того, были произведены замеры величины прироста верхушечного побега, а в 2014 г. – горизонтальной проекции кроны.

При отнесении лесотундровых сообществ к тому или другому типу обычно используется такой показатель, как сомкнутость древесного полога. При этом к редколесьям относят сообщества с сомкнутостью полога древостоев 0.1–0.3, а к редицам – с сомкнутостью полога менее 0.1 (Абаимов и др., 1997).

На некоторых площадках трансекты сомкнутость древесного полога достигала 0.1–0.2, но на большинстве площадок она была ниже, хотя плотность древесного яруса, включая подрост, была высокой (до 2000–2200 шт/га). В связи с тем, что на трансекте произрастают преимущественно молодые особи, у которых горизонтальная проекция кроны небольшая, при отнесении лесотундрового сообщества к тому или другому типу мы использовали такой показатель, как среднее расстояние между особями. К редколесьям относили сообщества, у которых расстояние между особями колебалось от 7–10 до 20–30 м, к редине – от 20–30 до 50–60 м, а к тундре с одиночными деревьями – свыше 50–60 м.

На трансекте и прилегающих участках склона в 1977, 1983, 1996, 2004 и 2014 гг. производилось повторное ландшафтное фотографирование в целях визуальной иллюстрации изменений в древесной растительности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты дендрохронологических датировок древесных остатков на трансекте показали, что с VIII до XIV в., т.е. во время Средневекового потепления климата, верхняя граница древесной растительности постепенно поднималась выше в горы и достигла максимальной высоты (340 м) в XIII в. (рис. 1). Затем наступил Малый ледниковый период (с XIV до XX в.), когда происходило массовое отмирание деревьев, что привело к снижению верхней границы произрастания древесной растительности до 260–280 м над ур. м. Наиболее интенсивное снижение этой границы наблюдалось в XV и XIX вв. (Shiyatov, 1993; Mazera et al., 2011). В конце XIX в. на трансекте не осталось ни одного живого дерева. Ситуация изменилась в начале XX в., когда на трансекте стал появляться жизнеспособный подрост.

На рис. 2 приведены данные, показывающие место произрастания каждой живой особи лиственницы по длине трансекты и время их жизни, а также распределение типов лесотундровых сообществ на трансекте в 1983, 2004 и 2014 гг.

Во время закладки трансекты в 1983 г. в ее нижней половине было обнаружено 19 живых лиственниц и одна усохшая. Первая живая лиственни-

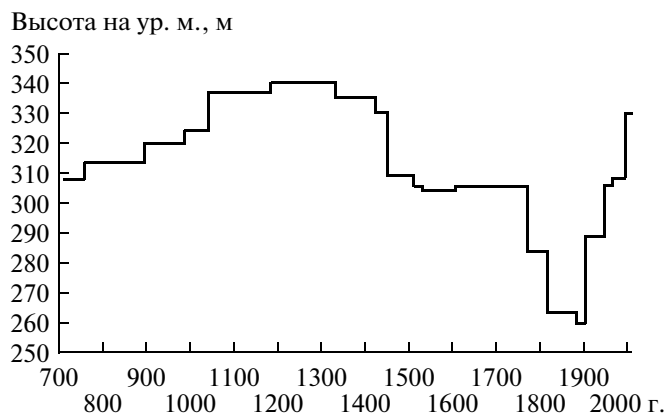


Рис. 1. Динамика верхней границы распространения древесной растительности в течение последних 1300 лет на горном массиве Рай-Из (Полярный Урал).

ца появилась в 1903 г. и в возрасте 80 лет имела высоту 4 м. В кроне уже имелось небольшое количество шишек. Следующие две лиственницы появились только через 40 и 45 лет (в 1943 и 1948 гг.). Более интенсивное возобновление лиственницы происходило с 1963 по 1975 г., когда появилось 16

молодых лиственниц, которые в 1983 г. имели высоту от 15 до 70 см. Большая часть этих лиственниц появилась в нижней части трансекты около 80-летней плодоносящей лиственницы. Четыре лиственницы появились в средней части трансекты (см. рис. 2).

Следующий перечень живых лиственниц на трансекте был произведен в 2004 г., т.е. через 21 год. За это время появилось 129 молодых лиственниц (см. рис. 2). Их расселение произошло в основном в нижней и средней частях трансекты. Две лиственницы (возрастом 8 и 10 лет) появились в верхней части трансекты на высоте 335 м над ур. м., т.е. вблизи остатков самых верхних деревьев, которые произрастали на верхней границе древесной растительности в XIII в. Более 80% (105 шт.) лиственниц имеют в настоящее время хорошее жизненное состояние, удовлетворительное – 20 шт., а неудовлетворительное – 4 шт. Большая часть лиственниц (12 шт.), поселившихся до 1983 г., начали плодоносить.

Последний перечень лиственниц был произведен в 2014 г., т.е. через 10 лет. За небольшой промежуток времени (7 лет) появилось 220 молодых лиственниц (всходы возрастом 1–3 года не учи-

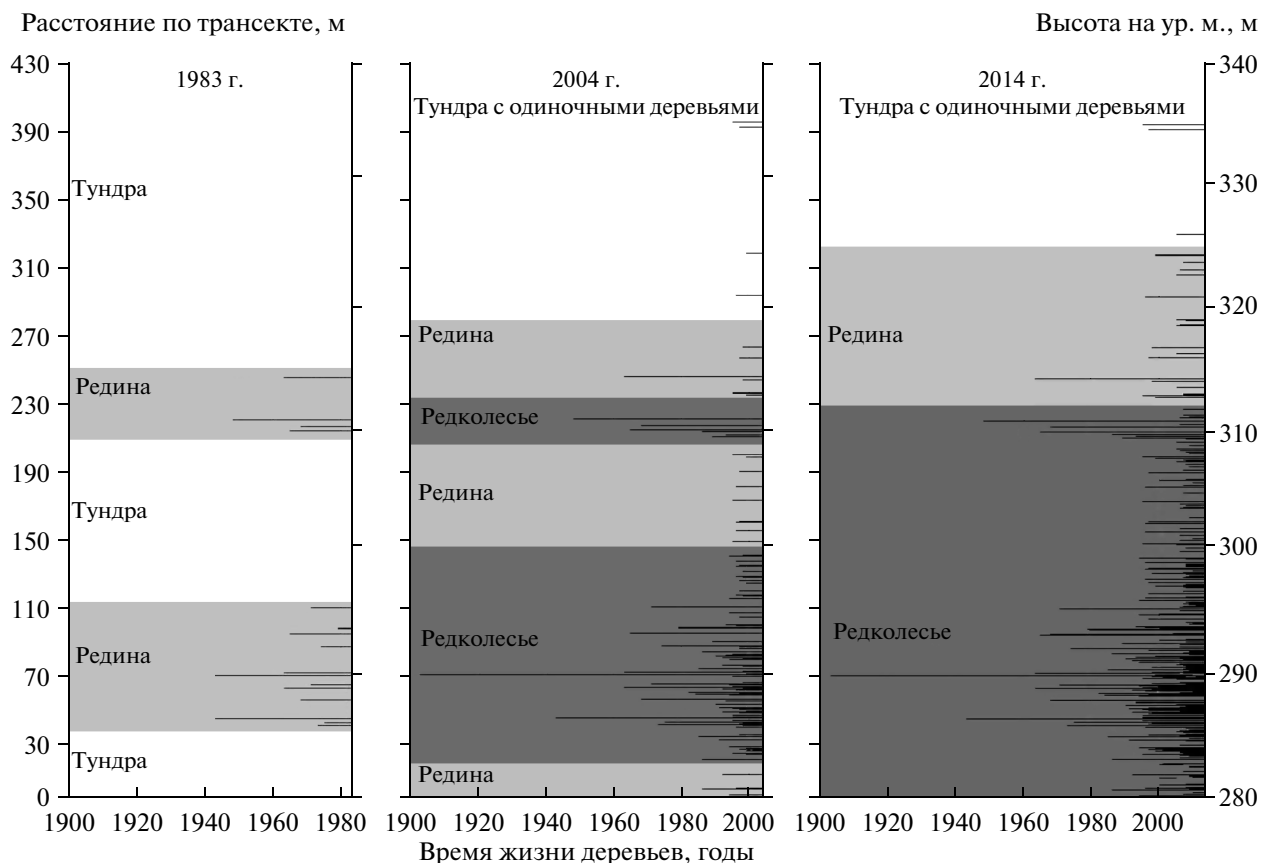


Рис. 2. Место и время появления живых лиственниц и формирования различных типов лесотундровых сообществ на трансекте в 1983, 2004 и 2014 гг.

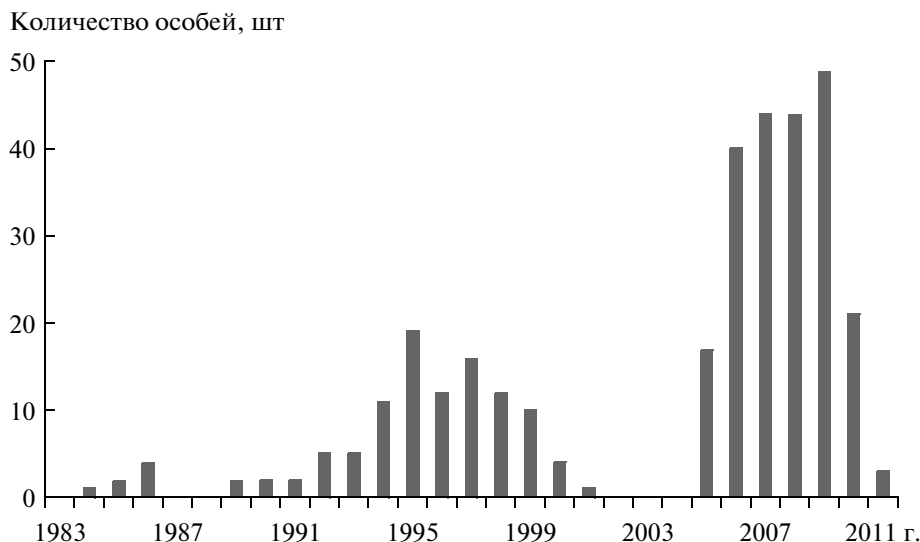


Рис. 3. Время появления и численность особей лиственницы сибирской на трансекте с 1983 по 2014 гг.

тывали). В течение этого промежутка времени усохло 9 лиственниц, появившихся между 1983 и 2004 гг., что составляет 7% от их общего количества. В настоящее время на трансекте произрастает 359 лиственниц различного возраста и высоты (см. рис. 2). Их расселение сосредоточено преимущественно в нижней и средней частях трансекты. Плотность особей для всей трансекты составляет 415 шт/га, в нижней и средней частях трансекты плотность лиственниц достигает 750–900 шт/га, а на отдельных квадратах 2000–2200 шт/га.

На рис. 3 показано время появления и численность вновь появившихся особей лиственницы сибирской на трансекте за период с 1983 г. по 2011 г. Характер динамики лесовозобновления неравномерный, были периоды подъема и спада. Причинами этой неравномерности могли послужить интенсивность семеношения и условия для выживания всходов в разные годы. Однако за весь рассматриваемый период хорошо просматривается увеличение интенсивности лесовозобновления лиственницы сибирской.

На ландшафтных фотоснимках (см. рис. 4), сделанных в средней части трансекты в разное время с одной и той же точки, хорошо видны основные этапы экспансии древесной растительности, начиная от безлесной тундры (1977 г.), одиночных деревьев в тундре (2004 г.) и заканчивая молодым редколесьем (2014 г.).

Обращает на себя внимание хорошее жизненное состояние лиственницы, произрастающей как на трансекте, так и на прилегающих участках склона. Преобладают деревья одноствольной формы роста. Флагообразность крон выражена слабо. Это свидетельствует о том, что на этом склоне в зимний период отсутствуют жесткие ветровые условия.

Здесь отлагается снеговой покров мощностью не менее 50 см, который предохраняет почву и корневые системы древесных растений от низких температур. О благоприятности условий местобитания на трансекте свидетельствует и величина прироста лиственницы в высоту. В 2004 г. у всех особей были произведены замеры годичного прироста верхушечного побега: у лиственниц возрастом до 8 лет прирост в высоту колебался от 1 до 9 см (в среднем 4–5 см); в возрасте от 9 до 15 лет – от 5 до 27 см (в среднем 13 см); у деревьев возрастом от 15 до 20 лет – от 25 до 35 см (в среднем 30 см); у наиболее старых лиственниц годичный прирост в высоту колебался от 10 до 17 см. В настоящее время высота самой старой лиственницы, возрастом 112 лет, составляет 10 м. Высота деревьев, поселившихся между 1943 и 1983 гг., колеблется от 2.8 до 8.5 м.

Об интенсивном приросте в высоту свидетельствуют и данные перечетов 2014 г.: высота некоторых лиственниц, появившихся 8–10 лет назад, достигает 130–150 см; средний годичный линейный прирост в высоту составлял 13–15 см. Судя по сохранившимся древесным остаткам, высокий прирост в высоту и по диаметру имели деревья, произраставшие на трансекте в период Средневекового потепления климата (VIII–XIII вв.).

В таблице приведены данные о распределении площадей, занятых тундровыми и лесотундровыми сообществами, на трансекте в 1983, 2004 и 2014 гг. В 1983 г. наибольшую площадь занимали тундровые сообщества (72%). В нижней половине трансекты располагались два небольших участка лиственничной редины, общая площадь которых составила 28%. В 2004 г. распределение различных типов лесотундровых сообществ существенно изменилось: на месте редин сформировались два

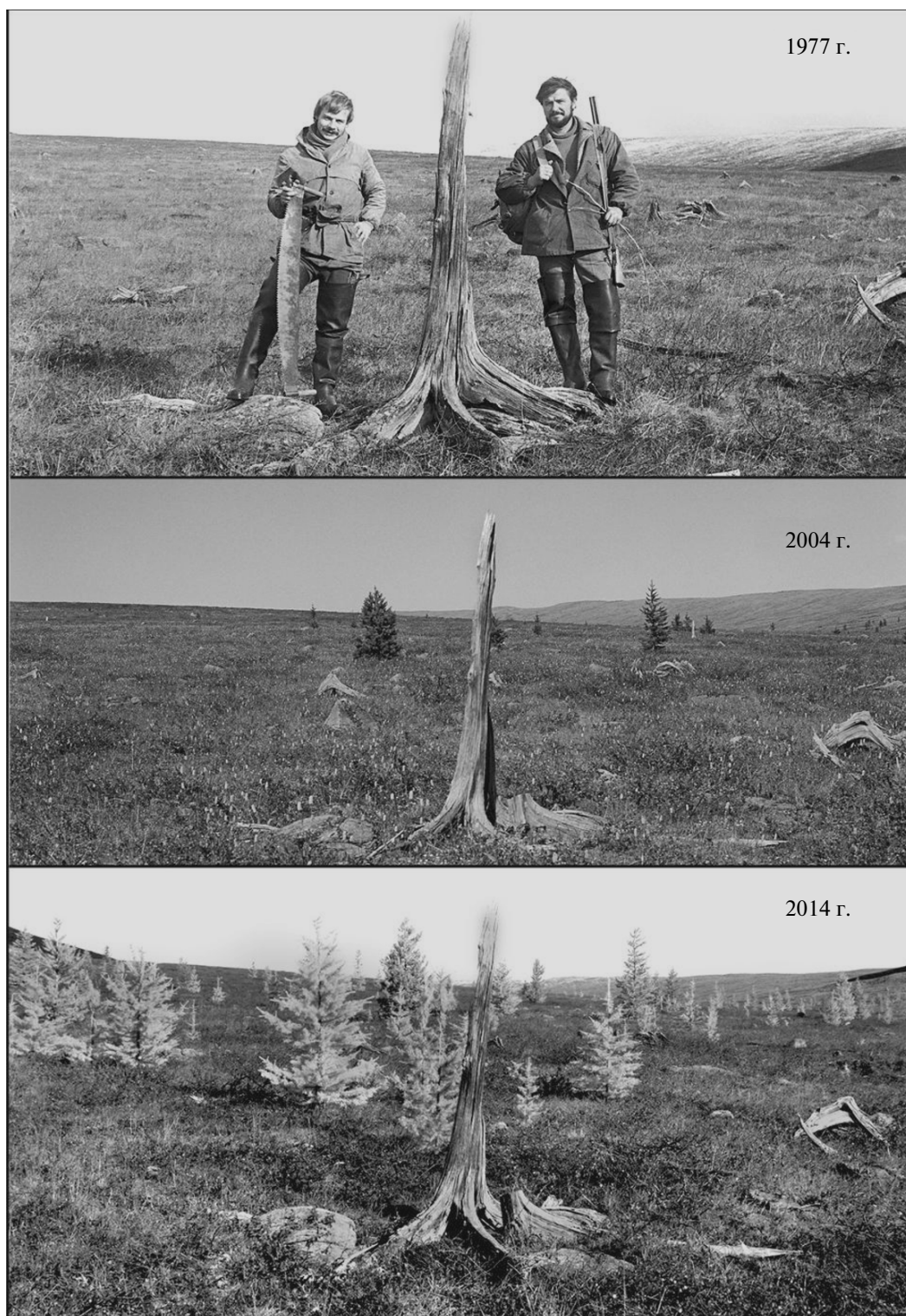


Рис. 4. Ландшафтные фотоснимки, сделанные в средней части трансекты с одной и той же точки в разное время (горный массив Рай-Из, Полярный Урал).

участка лиственничного редколесья, общая площадь которых составила 35%; значительную площадь занимали три участка редины (30%); более

чем в 3 раза сократилась площадь, покрытая тундрой (с 72 до 20%). Наиболее интенсивная экспансия древесной растительности происходила в те-

Распределение площадей на трансекте, покрытых тундровыми и лесотундровыми сообществами, в разные годы

Тип сообщества	Год					
	1983		2004		2014	
	м ²	%	м ²	%	м ²	%
Тундра	6200	72	1700	20	1300	15
Тундра с одиночными деревьями	—	—	1300	15	700	8
Редина	2400	28	2600	30	2000	24
Редколесья	—	—	3000	35	4600	53

чение последних 10 лет, в результате чего значительно увеличилась площадь, занятая лиственничным редколесьем (53%).

На фотоснимке (см. рис. 4), сделанном в 2014 г., изображено молодое редколесье, произрастающее в средней части трансекты. Хорошо видно, что идет активное расселение лиственницы одноствольной формы роста. К настоящему времени в верхней половине трансекты сформировался довольно большой участок редины площадью 2000 м² (24%). Площадь, занятая тундровым сообществом, уменьшилась до 15%, а площадь тундры с одиночными деревьями — до 8% (см. таблицу).

Перечеты живых лиственниц в различные временные отрезки позволили количественно оценить смещение верхней границы произрастания различных типов лесотундровых сообществ (тундра с одиночными деревьями, редина, редколесье) за последнее столетие. Первая живая лиственница на трансекте появилась в 1903 г., в результате этого верхняя граница одиночных деревьев поднялась до 290 м. Следующая лиственница, произрастающая выше по склону, появилась только через 45 лет (в 1948 г. на высоте 311 м). Впоследствии одиночные лиственницы поселились в 1963 и 1995 гг. на высотах 314 и 335 м (см. рис. 2). Верхняя граница произрастания одиночных лиственниц с 1903 по 1995 гг. поднялась по вертикали на 46 м (с 290 по 335 м), почти достигнув высоты, до которой поднимались одиночные деревья в XIII в. Скорость продвижения верхней границы одиночных деревьев по вертикали составила в среднем 2 м в год.

Первая лиственничная редина на трансекте, состоящая из 16 особей, сформировалась в 1963–1983 гг. на высоте от 286 до 295 м над ур. м. около наиболее старой плодоносящей лиственницы. Между 1983 и 2004 гг. в различных частях трансекты сформировались три изолированные друг от друга редины (см. рис. 2): один участок редины, состоящий из 4 особей, сформировался в самой нижней части трансекты, на высоте от 280 до 283 м над ур. м.; два других участка редины, состоя-

щие из 9 и 6 особей, образовались в средней части трансекты на высотах 300–309 и 313–316 м. Перечеты 2014 г. показали наличие одного довольно крупного участка лиственничной редины на высоте от 312 до 324 м, состоящего из 19 особей.

В течение последнего десятилетия произошло существенное увеличение площади, занятой лиственничным редколесьем в нижней половине трансекты, на высоте от 280 до 312 м над ур. м. (см. таблицу и рис. 2). Средняя скорость продвижения верхней границы лиственничных редколесий выше в горы за последние 25 лет составила 1.3 м в год.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

С начала прошлого столетия по настоящее время происходила экспансия древесной растительности в горную тундру на участке склона, на котором произрастали продуктивные лиственничные редколесья во время Средневекового потепления климата (VIII–XIII вв.). На этом склоне все деревья усохли во время Малого ледникового периода (XIV–XIX вв.), при этом верхняя граница произрастания древесной растительности снизилась с 340 до 260 м над ур. м. (см. рис. 1). В конце XIX в. на трансекте не осталось ни одного живого дерева. Процесс расселения лиственницы в горную тундру начался в первом десятилетии XX в. В нижних и средних участках трансекты появились одиночные деревья. В 1960–1980-х годах количество живых лиственниц заметно увеличилось. В этот период сформировались две лиственничные редины. Между 1983 и 2004 гг. интенсивность лесовозобновления резко возросла, молодые особи появились и в верхней части трансекты. Наиболее интенсивное возобновление лиственницы происходило в течение последних 10 лет, когда появилось свыше 219 молодых лиственниц и в нижней половине трансекты сформировалось лиственничное редколесье.

Экспансия лиственницы в горную тундру обусловлена улучшением лесорастительных условий в связи с потеплением и увлажнением климата как в летние, так и в зимние периоды. Подтверждает это анализ инструментальных данных за последние 130 лет по метеостанции г. Салехарда, расположенного в 55 км к востоку от трансекты (см. рис. 5). Согласно этим данным, в 1920-х годах произошло существенное потепление и увлажнение климата, которое продолжается до настоящего времени. Средняя температура летних месяцев (июня–августа) в 1883–1920 гг. составляла 10.6°C, в 1921–2004 гг. — 11.2°C, т.е. возросла на 0.6°C. Температура зимних месяцев (ноябрь–март) за те же периоды увеличилась на 1.1°C (с –20.6°C до –19.5°C). Среднее количество осадков в летние месяцы в 1891–1920 гг. составило 147 мм, в 1921–2004 гг. — 179 мм, т.е. увеличилось на 32 мм, а в зимние ме-

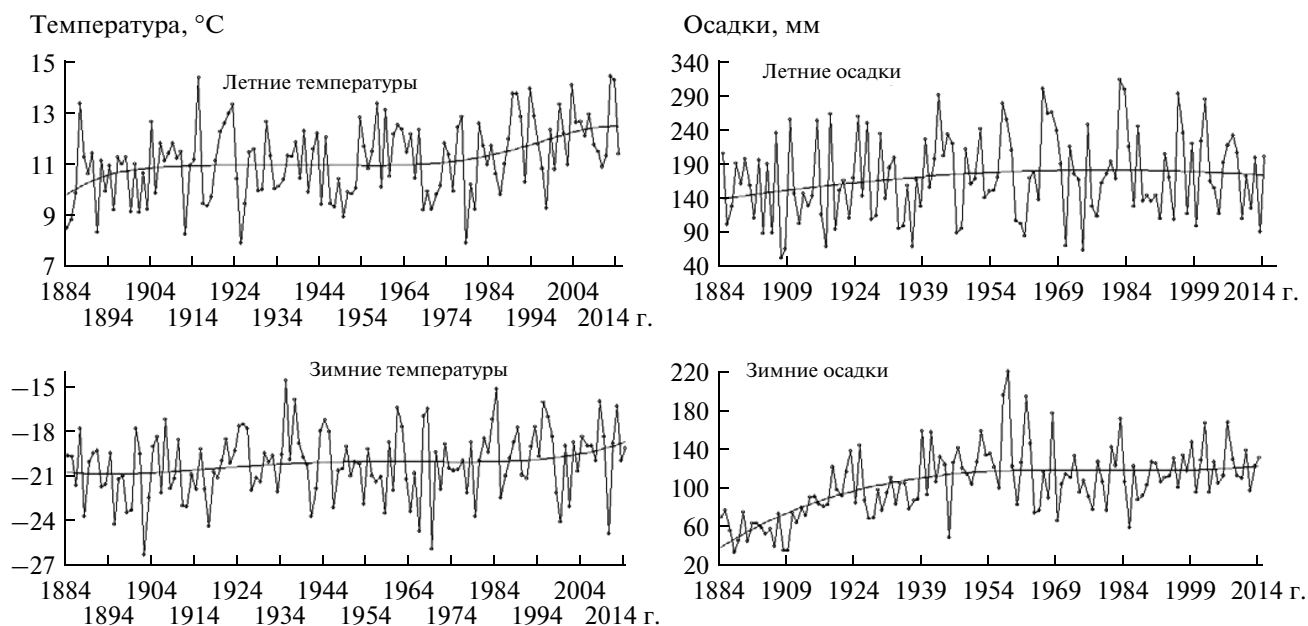


Рис. 5. Летние (июнь–август) и зимние (ноябрь–март) средние температуры воздуха и количество осадков по метеостанции Салехард (WMO # 2012333000, 66°31' с.ш., 66°36' в.д., 35 м над ур. м.).

сяцы – с 67 до 114 мм, т.е. возросло на 47 мм. Последнее десятилетие было самым теплым за весь период метеорологических наблюдений. Температура летних месяцев увеличилась на 1.1°C по сравнению с периодом 1921–2004 гг., а зимних месяцев – на 0.8°C. Количество осадков в летние месяцы за 2005–2014 гг. не изменилось по сравнению с 1921–2004 гг., а зимних осадков возросло на 8 мм.

Как показало сравнение реконструированных летних температур по ширине годичных колец лиственницы в разных районах Сибирской Субарктики (Ваганов и др., 1996), 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 имел более ранний срок начала вегетационного периода, о чем свидетельствует повышение температуры мая. Если в 1883–1920 гг. она составляла –2.4°C, то в 1921–2004 гг. повысилась до –1.1°C, а в 2005–2014 гг. до –0.1°C, т.е. возросла на 1.3 и 1.0°C соответственно. В результате этого длительность вегетационного периода при круглосуточном солнечном освещении увеличилась на 5–7 дней.

Высотный градиент температуры летних месяцев на Полярном Урале составляет 0.7°C. Температурная граница, при которой в настоящее время возможно существование древесной растительности, поднялась выше в горы более чем на 100 м. В действительности, верхняя граница на трансекте поднялась по вертикали лишь на 55–60 м.

Таким образом, верхняя граница произрастания древесной растительности еще не достигла климатически обусловленного предела и высотного уровня, до которого она поднималась во время Средневекового потепления климата.

Наши материалы подтверждают ранее сделанный вывод (Шиятов, 1966) о том, что процесс расселения лиственницы выше в горы сдерживается недостатком семян лиственницы. В этом районе вылет семян из шишек происходит на следующий год после их формирования. Весь зимний период семена находятся в шишках и лишь с наступлением в следующем году теплой и солнечной погоды шишки раскрываются, и начинается их массовый вылет. Обычно это происходит в июне–июле. Семена лиственницы разносятся ветром не далее чем на 40–60 м от плодоносящих деревьев высотой 10–13 м, оседая в напочвенном покрове и подстилке. Дальнейшее распространение выпавших семян, особенно вверх по склону, не происходит. Лиственница в районе исследований плодоносит почти ежегодно, обеспечивая в достаточном количестве семенами тундровые участки вблизи плодоносящих особей, редин и редколесий, а также под их пологом. По данным Н.Б. Кошкиной (2008), лабораторная всхожесть семян лиственницы в различных типах лесотундровых сообществ Полярного Урала довольно высокая – от 17 до 39%. На тундровые участки, удаленные на 60 м и более от плодоносящих особей, семена заносятся редко, поэтому многие пригодные для произрастания древесной растительности тундровые участки до сих пор остаются безлесными. Данные пе-

речетов и картирования листовиц на трансекте подтверждают вывод о важности обеспечения семенами тундровых участков для формирования лесотундровых сообществ. Более интенсивное возобновление листовицы на трансекте происходило около плодоносящих особей. Существенное увеличение площади листовичного редколесья в течение столь короткого промежутка времени (10 лет) обусловлено тем, что довольно большое количество особей возрастом от 15 до 110 лет начали плодоносить. Кроме того, климатические условия в этот период были благоприятными для роста и развития листовицы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ появления и роста листовиц на трансекте, заложенной на юго-восточном склоне массива Рай-Из, показал, что в течение последних 110 лет происходило непрерывное расселение листовицы в горную тундру. Начальные этапы расселения были медленными. В первой половине XX в. появились одиночные деревья и небольшие участки редины. В течение последних двух десятилетий процесс формирования лесотундровых сообществ значительно ускорился. В настоящее время большая часть трансекты занята молодыми листовичными редколесьями и рединой, а верхняя граница отдельных деревьев почти поднялась до высотного уровня, на котором они произрастали в XIII в. Современная экспансия древесной растительности в горную тундру обусловлена потеплением и увлажнением климата в летний и зимний периоды. Ускоренное облесение трансекты, которое происходило в течение последних 20 лет, обусловлено лучшей обеспеченностью семенами листовицы. К настоящему времени верхняя граница произрастания древесной растительности на склоне, на котором заложена трансекта, еще не достигла тех высотных уровней, которых она достигала в XIII в. в связи с кратковременностью периода, благоприятного для произрастания древесной растительности. Мы считаем, что если современные климатические условия сохранятся, то самые верхние молодые листовицы в течение ближайших 15–20 лет начнут плодоносить, и разрыв между фактической и климатически обусловленной верхней границей древесной растительности сократится.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-04-00961), Программы фундаментальных исследований Уро РАН (проект № 15-02-14-22) и частично российско-американского конкурса совместных проектов в области фундаментальных исследований Уро РАН – CRDF (проект № RUB1-7032-EK-11).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абаимов А.П., Бондарев А.И., Зырянова О.А., Шитова С.А.* Леса Красноярского Заполярья. Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
- 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.
- Кошкина Н.Б.* Начальные этапы возобновления древесных видов на верхнем пределе их произрастания в горах Урала: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2008. 24 с.
- Шиятов С.Г.* Время рассеивания семян листовицы сибирской в северо-западной части ареала и роль этого фактора во взаимоотношении леса и тундры // *Вопр. физиологии и геоботаники: Зап. Свердловского отд. Всесоюзного бот. об-ва*. 1966. Вып. 4. С. 109–113.
- Шиятов С.Г.* Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: Уро РАН, 2009. 219 с.
- Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В.* Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале // *Экология*. 2005. № 2. С. 1–8.
- Frost G.V., Epstein H.E.* Tall shrub and tree expansion in Siberian tundra ecotones since the 1960 s. // *Global Change Biology*, 2014. V. 20. P. 1264–1277.
- Hagedorn Frank, Shiyatov Stepan G., Mazepa Valeriy S.* et al. Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions? // *Global Change Biology*. 2014. Doi: 10.1111/gsb.12613.
- Holtmeier F.-K.* Mountain Timberlines. Ecology, Patchiness, and Dynamics: Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publishers, 2003. 369 p.
- Kharuk V.I., Shiyatov S.G., Kashishke E.* et al. Forest-tundra ecotone response to climate change. Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling. Sankt-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2002. V. XVIII. P. 234–260.
- Kirdyanov A.V., Hagedorn F., Knorre A.A.* et al. 20th century tree-line advance and vegetation changes along an altitudinal transect in the Putorana Mountains, northern Siberia // *Boreas*. 2012. V. 41. P. 56–67.
- Körner Ch.* Alpine plant life. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. 343 p.
- Kullman L.* Dynamics of altitudinal tree-limits in Sweden: a review // *Nor. Geogr. Tidsskr.* 1990. № 44. P. 103–116.
- Mazepa V.S.* Stand density in the last millennium at the upper timberline ecotone in the Polar Urals Mountains // *Canad. Jour. of Forest Research*. 2005. V. 35. P. 2082–2091.
- Mazepa Valeriy, Shiyatov Stepan, Devi Nadezhda.* Climate-driven change of the stand age structure in the Polar Urals Mountains // *Climate Change – Geophysical Foundations and Ecological Effects*. Croatia: In Tech. September 2011. P. 377–402.
- Shiyatov S.G.* The upper timberline dynamics during the last 1100 years in the Polar Urals Mountains. Oscillations of the alpine and polar tree limits in the Holocene. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1993. P. 195–203.