

УДК 574.4+581.524.3

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ СДВИГИ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ РЕДКОЛЕСИЙ И СОМКНУТЫХ ЛЕСОВ В XX СТОЛЕТИИ НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ

© 2007 г. С. Г. Шиятов*, М. М. Терентьев*, В. В. Фомин*, Н. Е. Циммерманн**

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

E-mail: stepan@ipae.uran.ru

**Swiss Federal Research Institute WSL,

Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, Switzerland

E-mail: niklaus.zimmermann@wsl.ch

Поступила в редакцию 07.04.2006 г.

На Полярном Урале (массив Рай-Из, горы Черная и Мал. Черная) изучали вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы лиственничных редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии. Оценку пространственно-временного сдвига границ производили при помощи географической информационной системы ARC/INFO (ESRI Inc., США), при этом за основу были взяты полученные нами крупномасштабные геоботанические карты, показывающие распределение различных типов лесотундровых сообществ в начале 1910-х и 2000-х годов. Показано, что в течение последних 90 лет происходило интенсивное продвижение древесной растительности выше в горы. Верхняя граница редколесий поднялась в среднем на 26 м, а сомкнутых лесов – на 35 м. Горизонтальный сдвиг границ составил в среднем 290 и 520 м соответственно. Причиной таких сдвигов стали потепление и увлажнение климата, которые начались в 1920-х годах и продолжаются до настоящего времени.

Ключевые слова: экотон верхней границы древесной растительности, вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов, потепление и увлажнение климата, географическая информационная система, *Larix sibirica*, Полярный Урал.

Ранее нами (Шиятов и др., 2005) для Полярного Урала был проведен анализ пространственного распределения различных типов лесотундровых сообществ (отдельные деревья в тундре, редины, редколесья и сомкнутые леса) для начала 1910-, 1960- и 2000-х годов. За последние 90 лет в пределах экотона верхней границы древесной растительности (ЭВГДР) произошло значительное увеличение площади редколесий и сомкнутых лесов за счет облесения тундр, а также увеличения густоты и продуктивности ранее существовавших древостоев. На многих склонах отмечается поднятие верхней границы распространения редин, редколесий и сомкнутых лесов, но точные данные о величине и скорости смещения этих границ не приведены.

Цель настоящей работы – количественная оценка вертикального и горизонтального сдвигов верхней границы распространения чистых лиственничных (из *Larix sibirica* Ledeb.) редколесий и сомкнутых лесов, которые произошли с 1910 по 2000 г., т.е. в период, который характеризовался благоприятными климатическими условиями для произрастания древесной растительности. Сдвиг верхних границ редин и отдельных деревьев в тундре не рассматривается в связи с трудностью

определения их границ на местности. В анализ была включена закартированная территория ЭВ-ГДР площадью около 50 км², на которой преобладают сравнительно пологие склоны, а положение верхней границы древесной растительности в основном определяют климатические факторы (от восточного отрога массива Рай-Из на севере до ручья Орех-Юган на юге). У подножия гор Черной и Мал. Черной преобладает ветровой тип верхней границы леса, а на южном склоне массива Рай-Из – термический (Шиятов, 1970).

Под термином ЭВГДР мы понимаем переходный пояс растительности в горах между верхними границами распространения сомкнутых лесов и отдельных деревьев в тундре. В настоящее время высотный диапазон этого экотона в районе исследований колеблется от 140 до 560 м над ур. м. Лиственничные редколесья и сомкнутые леса произрастают у подножия и в нижней части склонов, их верхняя граница проходит в среднем на высоте 260 и 230 м соответственно. Отдельно растущие деревья в тундре на защищенных от ветров склонах поднимаются до высоты 500–560 м. К сомкнутому лесу мы относили сообщества, в которых среднее расстояние между деревьями составляет менее 7–10 м, а к редколесьям – от 7–10 до

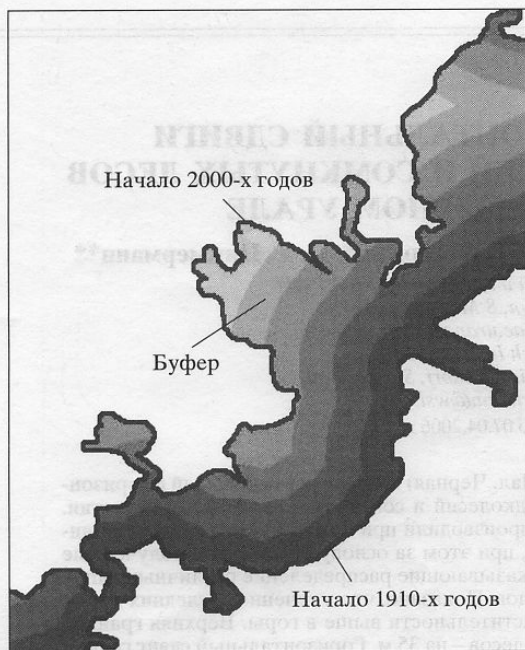


Рис. 1. Схема построения буферных областей.

20–30 м. Более подробные сведения о районе исследований и методике картографических работ были опубликованы ранее (Шиятов и др., 2005).

МЕТОДИКА РАБОТ

Количественную оценку пространственно-временного сдвига верхних границ распространения редколесий и сомкнутых лесов производили на основе полученных нами тематических геоботанических карт масштаба 1 : 25000, которые показывают распределение различных типов лесотундровых сообществ в начале 1910-х и 2000-х годов.

Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов рассчитывали следующим образом. Так как для данного района характерно островное расположение лесотундровых сообществ, особенно в верхней части ЭВГДР, то для получения непрерывной кривой, показывающей положение верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в рассматриваемые интервалы времени, фронтальные границы самых верхних островков и массивов лесов были соединены между собой линией по кратчайшему пути. Небольшие островки редколесий, произрастающие у подножия гор Черной и Мал. Черной и удаленные на 0.5–2.0 км от этих границ, в расчет не принимали. Если на участке склона

выше сомкнутого леса отсутствовало редколесье, то их фронтальные границы совпадали.

Линейные слои (покрытия) границ в начале и конце исследуемого периода были растеризованы (линия была представлена в виде совокупности ячеек, размер каждой из которых составлял 10 × 10 м) и наложены на цифровую модель рельефа в географической информационной системе. Для каждой ячейки границы леса было получено значение ее высоты над уровнем моря. На основе этих данных были построены гистограммы распределения высот верхних границ редколесий и сомкнутых лесов в начале и конце рассматриваемого периода. Статистики полученных распределений были использованы для оценки величины их вертикального сдвига.

Оценку горизонтального сдвига верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в ГИС осуществляли следующим образом. От линии, характеризующей положение границ в начале исследуемого периода, были построены буферные области, последовательно сменяющие друг друга (рис. 1). Ширина каждой области составляла 10 м. Наложение границ редколесий и сомкнутого леса в конце исследуемого периода на эти области позволило получить информацию о величине горизонтального смещения границы. На ее основе были построены гистограммы распределения горизонтального сдвига границ. Полученные распределения вертикального и горизонтального сдвигов отличаются от нормального, поэтому для их оценки мы вместо среднего значения использовали более устойчивую статистику – медиану.

Пространственное моделирование выполняли в ГИС ARC/INFO с использованием языка AML. Статистическую обработку и анализ данных произвели в статистическом пакете "R" (R Core Team www.r-project.org).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 и 3 изображены картосхемы сдвигов верхней границы редколесий и сомкнутых лесов, а в табл. 1 и 2 приведены статистические данные, характеризующие величину их вертикального и горизонтального сдвигов за последние 90 лет. Из рисунков видно, что произошло повсеместное поднятие верхней границы как редколесий, так и сомкнутых лесов. На разных участках склонов эти сдвиги были неодинаковыми, что связано с наличием участков, неблагоприятных для произрастания древесной растительности. Наиболее часто отсутствие или незначительный сдвиг объясняются наличием крутых каменистых склонов или сильно ветрообдуваемых местообитаний. Анализ рис. 2, 3 и табл. 1 свидетельствует о том, что в районе исследований отсутствуют участки, на которых происходило снижение высотного по-

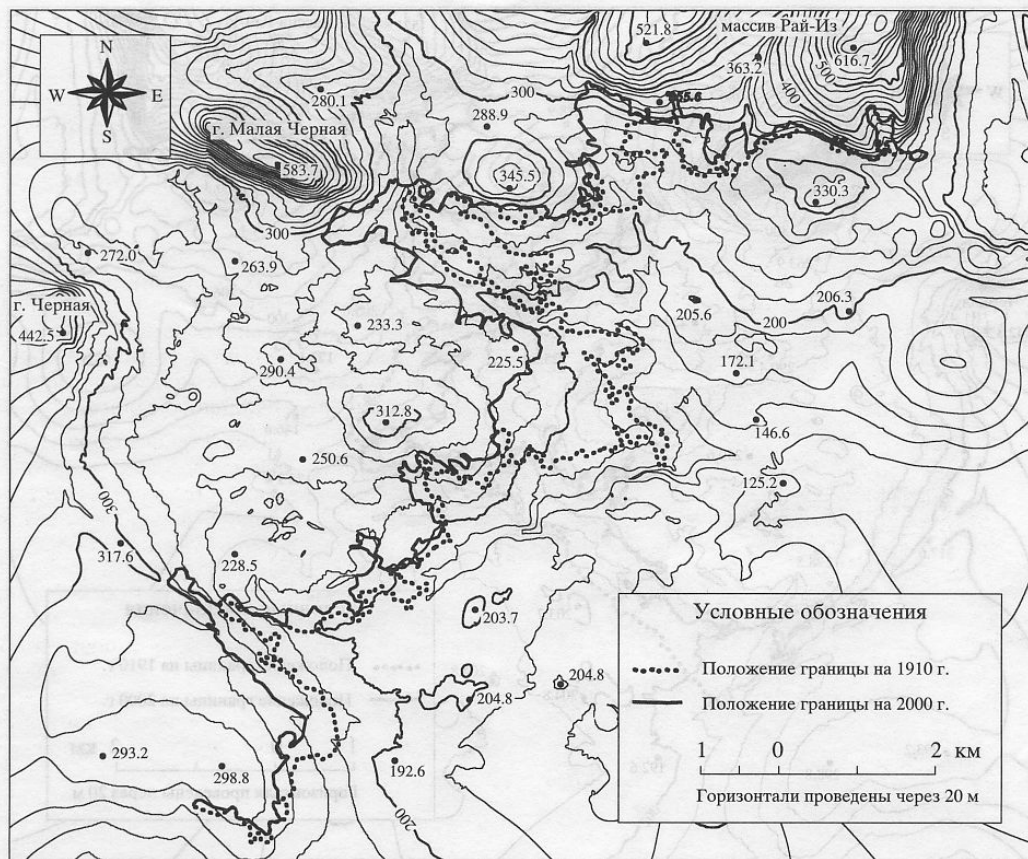


Рис. 2. Картограмма сдвига верхней границы редколесий за последние 90 лет.

ложения этих границ за рассматриваемый промежуток времени.

Вертикальный сдвиг по медиане составил для редколесий 26 м (с 231 до 257 м над ур. м.), для сомкнутых лесов – 35 м (с 195 до 230 м), а горизонтальный для редколесий – 290 м, для сомкнутых лесов – 520 м (см. табл. 1, 2). Таким образом, за исследуемый период скорость вертикального сдвига границ составила 3 и 4 м за десятилетие, а горизонталь-

ного – 32 и 58 м соответственно. Обращает на себя внимание большая величина сдвига сомкнутых лесов по сравнению с редколесьями. Это обусловлено тем, что при наступлении благоприятных климатических условий сообщества редколесий легче трансформируются в сомкнутые леса в связи с лучшей обеспеченностью таких участков семенами. Ранее было показано (Шиятов, 1966), что в этом районе вылет семян из шишек лиственни-

Таблица 1. Величина вертикального сдвига верхней границы редколесий и сомкнутых лесов с 1910 по 2000 г.

Статистический показатель	Редколесья			Сомкнутые леса		
	Высота над ур. м., м		Сдвиг, м	Высота над ур. м., м		Сдвиг, м
	1910 г.	2000 г.		1910 г.	2000 г.	
Медиана	231	257	26	195	230	35
Минимум	153	194	41	131	154	23
Максимум	332	410	78	292	348	56

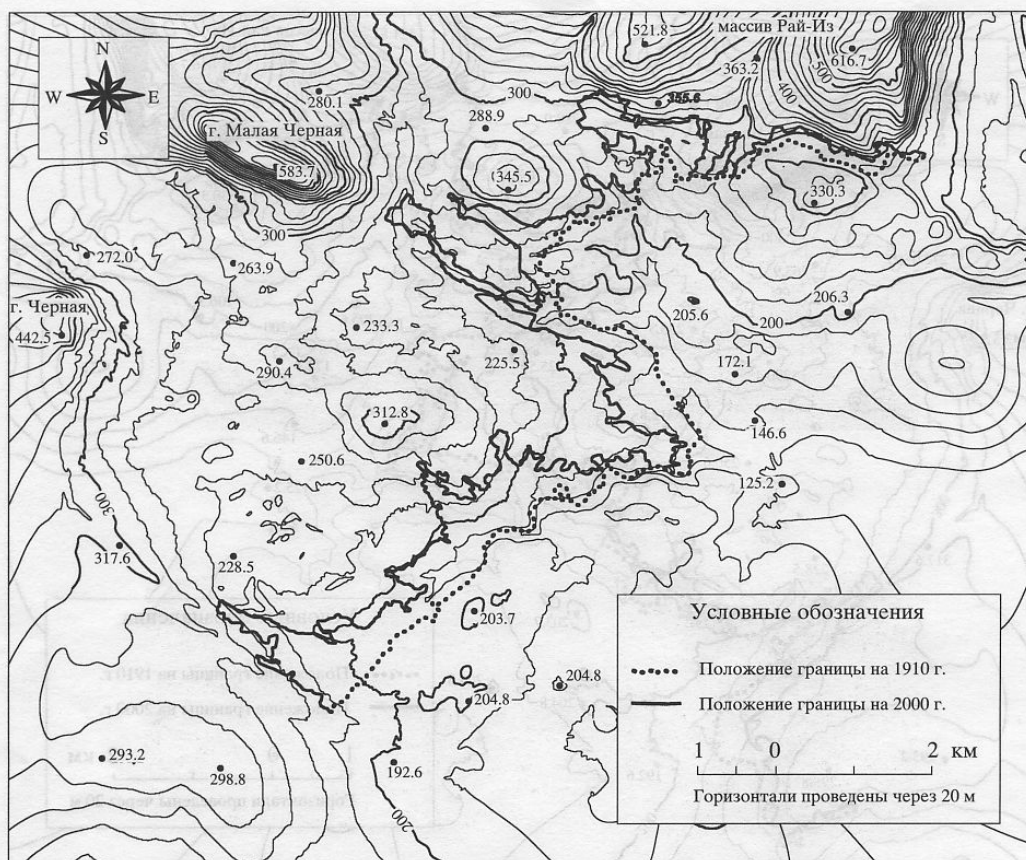


Рис. 3. Картограмма сдвига верхней границы сомкнутых лесов за последние 90 лет.

цы происходит в летние месяцы, когда отсутствует снеговой покров. Тяжелые семена лиственницы разносятся ветром не далее чем на 40–60 м от плодоносящих деревьев и застревают в подстилке. Поэтому на удаленных от плодоносящих деревьев тундровых участках возобновление лиственницы идет очень медленно, и формирование более или менее густых древостоев может растянуться на длительное время.

Таблица 2. Величина горизонтального сдвига верхней границы редколесий и сомкнутых лесов с 1910 по 2000 г., м

Статистический показатель	Редколесья	Сомкнутые леса
Медиана	290	520
Минимум	70	10
Максимум	1190	2030

Максимальный вертикальный сдвиг редколесий с 1910 по 2000 г. составил 78 м, а сомкнутых лесов – 56 м, максимальное горизонтальное смещение редколесий – 1190 м, сомкнутых лесов – 2030 м (см. табл. 1, 2). Наиболее существенные сдвиги границ произошли на южном склоне массива Рай-Из, по левому берегу р. Кердоманшор, на восточном склоне сопки высотой 312,8 м и по правому берегу р. Енгаю. Особенно впечатляет продвижение сомкнутых лесов более чем на 2 км вдоль левого берега р. Кердоманшор. В 1910-х и даже в 1960-х годах здесь произрастали одиночные деревья, редины и редколесья, тянувшиеся узкой полосой вдоль крутого берега южной экспозиции. К настоящему времени большая часть этих сообществ превратилась в сомкнутые леса (см. рис. 4).

Значительный сдвиг верхней границы редколесий и сомкнутых лесов произошел как на склонах, испытывающих в зимние месяцы воздействие сильных западных ветров (междуречье рек

1962 г.



2004 г.



Рис. 4. Формирование более густых лиственничных лесов и редколесий на левом берегу р. Кердоманшор.

Кердоманшор и Енгаю), так и на территории, где основным лимитирующим фактором является термический режим летнего периода (южный склон массива Рай-Из). Это свидетельствует о том, что ветровые и температурные условия в течение последних 90 лет стали более благоприятными для произрастания древесной растительности. По-видимому, в результате более раннего начала вегетационного периода и большей его длительности молодые побеги лиственницы успевают полностью закончить цикл роста и развития и лучше подготовиться к суровым зимним условиям. Если до начала современного потепления климата на сильно ветрообдуваемых и малоснежных местообитаниях произрастала исключительно лиственница стланиковой формы роста, то к настоящему времени стланики превратились в многоствольные деревья высотой до 5–6 м, а молодые деревья, возраст которых не превышает 50–60 лет, имеют в основном одноствольную форму роста.

Полученные данные о величине и скорости вертикального и горизонтального сдвигов верх-

ней границы редколесий и сомкнутых лесов на Полярном Урале подтверждают сделанный нами ранее вывод об интенсивной экспансии древесной растительности выше в горы в результате потепления и увлажнения климата, которые наблюдались в XX столетии (Шиятов и др., 2005). По данным ближайшей метеостанции Салехард, расположенной в 55 км к востоку от района исследований, в 1920–2004 гг. средняя температура воздуха июня–августа возросла на 0,7°C, а ноября–марта – на 1,1°C по сравнению с периодом 1883–1919 гг. 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). В районе исследований вертикальный градиент температуры воздуха в летние месяцы составляет 0,7°C. Отсюда следует, что климатическая граница, при которой возможно существование древесных растений, поднялась выше в горы примерно на 100 м, что в 3 раза превышает величину фактического вертикального сдвига верхней границы редколесий и сомкнутых лесов. Другими словами, в настоящее время древесная растительность еще не достигла

климатически обусловленного предела из-за слабой обеспеченности семенами лиственницы тундровых участков, расположенных в верхней части ЭВГДР, хотя на отдельных участках склонов она и приблизилась к нему.

Таким образом, анализ вертикального и горизонтального сдвигов верхней границы редколесий и сомкнутых лесов свидетельствует о происходившем в течение последних 90 лет на восточном макросклоне Полярного Урала повсеместном и интенсивном расселении древесной растительности выше в горы, которое может быть объяснено улучшением климатических условий.

Работа выполнена благодаря финансовой поддержке РФФИ (гранты 05-04-48466 и 06-04-49359), ИНТАС (грант 01-0052) и технической поддержке ООО "ДАТА+" – официального пред-

ставителя компаний производителей программного обеспечения ESRI и Leica Geosystems (США).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Свердловск, 1966. Вып. 4. С. 109–113.
Шиятов С.Г. О типах верхней границы леса и ее динамике на Полярном Урале // Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар, 1970. С. 73–81.
Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале // Экология. 2005. № 2. С. 83–90.

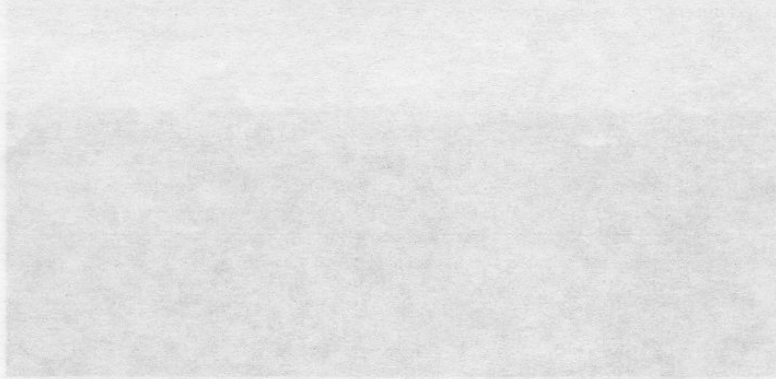


Рис. 4. Вертикальный сдвиг верхней границы редколесий на восточном макросклоне Полярного Урала.

ней тундры редколесий и сомкнутых лесов на Полярном Урале под воздействием климатических факторов. В работе использованы данные о состоянии лесов в тундровых районах в 1950–2004 гг. средние значения температуры воздуха в июле составили 17,0 °С в 1950 г. и 17,5 °С в 2004 г. По данным Шиятова и др. (2005) в XX столетии в тундровых районах Полярного Урала произошло расселение лиственницы сибирской на 10–15 км восточнее от района исследования. В 1950–2004 гг. средняя температура воздуха в июле составила 17,0 °С в 1950 г. и 17,5 °С в 2004 г. По данным Шиятова и др. (2005) в XX столетии в тундровых районах Полярного Урала произошло расселение лиственницы сибирской на 10–15 км восточнее от района исследования. В 1950–2004 гг. средняя температура воздуха в июле составила 17,0 °С в 1950 г. и 17,5 °С в 2004 г. По данным Шиятова и др. (2005) в XX столетии в тундровых районах Полярного Урала произошло расселение лиственницы сибирской на 10–15 км восточнее от района исследования.

Коромандор в Финляндии) так и на территории тундровых районов. Основным лимитирующим фактором является температурный режим воздуха (ложный снежный покров). Это свидетельствует о том, что в тундровых районах условия в последние 50 лет стали более благоприятными для распространения древесной растительности. По-видимому, в результате более раннего старта весеннего таяния снега и более позднего окончания периода интэнсивного роста и развития лиственницы в тундровых районах условия для ее распространения стали более благоприятными. Если до начала исследования в тундровых районах преобладали мхово-лишайниковые сообщества, то к началу исследования преобладали мхово-лишайниковые сообщества с участием лиственницы. Если до начала исследования в тундровых районах преобладали мхово-лишайниковые сообщества, то к началу исследования преобладали мхово-лишайниковые сообщества с участием лиственницы. Если до начала исследования в тундровых районах преобладали мхово-лишайниковые сообщества, то к началу исследования преобладали мхово-лишайниковые сообщества с участием лиственницы.