

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ

ИЗВЕСТИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ
АКАДЕМИИ

Выпуск 180

Издаются с 1886 года

Санкт-Петербург
2007

Д. С. Капралов, ассистент

С. Г. Шиятов,

доктор биологических наук, профессор

В. В. Фомин,

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Ю. В. Шалаумова, ассистент

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Введение

Изучению реакции наземных экосистем на происходящие глобальные и региональные климатические изменения сегодня уделяется большое внимание. Высокогорная растительность, которая формировалась на протяжении длительного периода времени в экстремальных условиях среды, может служить индикатором климатических изменений. Ее уникальность в качестве объекта исследований обусловлена высокой чувствительностью к изменениям климата [6].

Методика проведения исследований

Горный массив Иремель (1586 м н.у.м., 54° 30'–54° 34' с.ш., 58° 49'–58° 54' в.д.) расположен в пределах средней части Южного Урала. Массив имеет овальную форму и вытянут с северо-востока на юго-запад на 12 км. Он имеет две вершины: Большой Иремель и Малый Иремель, высотой 1582 и 1449 м н.у.м. соответственно [4]. Наиболее высокие точки массива представлены скалистыми останцами, а крутые склоны – обширными крупноглыбовыми россыпями, которые иногда спускаются вниз по склону до высоты 900–1000 м н.у.м. По данным А. А. Цветаева [5] горный массив Иремель сложен кварцевыми песчаниками, кварцито-песчаниковыми и подчиненными им темносерыми и черными (углистыми) сланцами.

Склоны этих вершин с северо-западной стороны образуют между собой чашеобразную котловину, ручьи которой, сливаясь, формируют речку Карагайку. С юго-восточных склонов горного массива берет начало речка Тыгын [4].

На склонах массива Иремель выражены следующие пояса растительности: фрагменты пояса горных сосновых южнотаяжных лесов, горных темнохвойных лесов, подгольцовый и горно-тундровый [1]. Горные тундры и темнохвойные леса горно-лесного пояса слагаются в основном бореальными видами. В горно-таяжном поясе еловые леса представлены ельниками высокотравными и папоротниковыми с примесью пихты сибирской. В нижней части пояса встречаются лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.), редко осина (*Populus tremula* Ledeb.).

Высокогорная растительность массива Иремель не подвергалась существенному влиянию антропогенных факторов и на пологих склонах поднимается до своего термически обусловленного предела [2]. Район в значительной степени удален от крупных промышленных центров (Златоуст – 80 км, Сатка – 60, Магнитогорск – 120, Уфа – 180 км).

В 1973 году С.Г. Шиятов изучал состав, структуру и высотное положение верхней границы редколесий горных вершин массива Иремель. Верхняя граница редколесий и мелколесий – линия, до которой поднимаются лесные сообщества; сомкнутость крон этих древостоев была не менее 10–15%. На исследуемых участках производилось глазомерное описание состава и структуры древостоев, произрастающих в пределах верхней полосы редколесий шириной 50–100 м. При этом фиксировали следующие показатели: состав древостоя, сомкнутость крон, средние высоты и диаметр древостоя, а также направление флагообразности крон.

В ходе картирования верхняя полоса редколесий была разделена вдоль склона на однородные по составу и структуре выделы. Основным критерием для разграничения нового выдела служило изменение состава древостоя на единицу и более. Всего описано 68 выделов, абсолютная высота определена на 106 точках.

В 2006 году нами выполнены повторные полевые исследования с целью оценки изменений, которые произошли в составе, структуре и высотном положении верхней границы редколесий за последние 33 года. При этом использовали оцифрованную топографическую карту М 1:100 000, на которую предварительно была нанесена информация, полученная в 1973 году (высотное положение верхней границы редколесий, границы выделов, состав древостоев, высоты точек барометрических замеров). Местонахождение выделов и точек прошлого периода исследований на местности определяли при помощи топокарты и приемника GPS.

Для оценки произошедших изменений высокогорной растительности также использовали повторные ландшафтные фотоснимки с тех же точек, с которых они были сделаны С.Г. Шиятовым в 1973 и 1975 годах. Для хранения и поиска фотоматериалов разработана база данных фотографий горных массивов Урала. Информационная система на основе базы данных позволяет получить интересующие снимки ландшафтов по их описанию для сравнения состояния растительных сообществ и динамики смещения их границы.

По данным полевых исследований 1973 и 2006 годов в географической информационной системе ARC/INFO (ESRI, США) были созданы векторные цифровые карто-схемы, характеризующие высотное положение верхней границы редколесий и мелколесий, а также содержащие другую атрибутивную информацию.

Оценка вертикального и горизонтального смещений верхней границы редколесий (по данным полевых работ) и сомкнутых лесов (по топографическим картам) за вторую половину XX века стала одной из главных целей проведенных нами исследований.

Методика оценки горизонтального сдвига состоит из нескольких этапов (рис. 1). Сначала в ГИС ARC/INFO были созданы два векторных покрытия (А), характеризующие положение границ в начале и конце исследуемого временного интервала. От границы начала периода рассчитывали буферные области в виде полигональных покрытий, которые удалены от исходной линии на одинаковое расстояние, кратное размеру ячейки цифровой модели рельефа района исследований. Далее проводили растеризацию полигональных покрытий, результатом которой является суммарный слой, содержащий буферные области, последовательно сменяющие друг друга (Б). Затем при наложении растеризованного покрытия границы конца периода на растр с буферными областями каждой ячейке границы леса (редколесий) в конце периода соответствовала ячейка буферного слоя, содержащая величину смещения от границы леса в начале периода (В). В результате получили гистограмму распределения горизонтального смещения лесорастительных рубежей для каждого из районов исследований (Г). Для количественной оценки величины сдвига данного вида применяли статистику распределения с использованием статистического пакета «R» (R Core Team www.r-project.org).

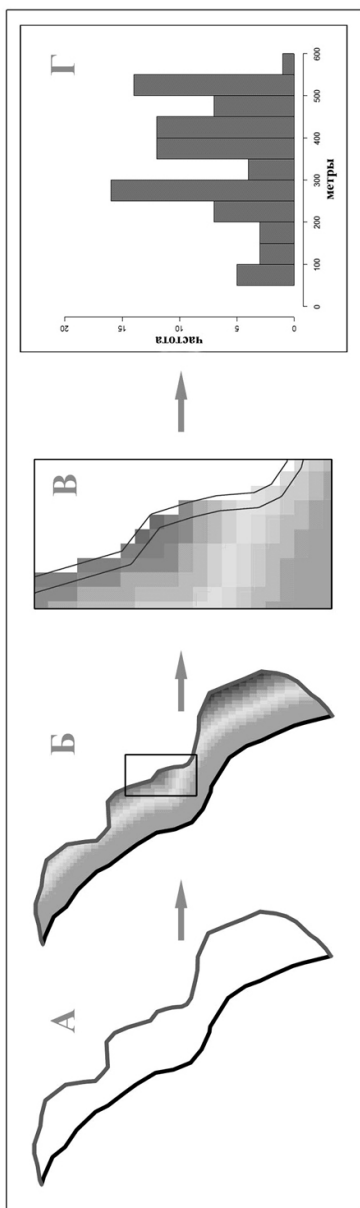


Рис. 1. Методика оценки горизонтального (планарного) сдвига лесорастительных границ

Оценку вертикального сдвига выполняли в ГИС ARC/INFO путем наложения слоев с границами лесных сообществ на цифровую модель рельефа. Таким образом были получены гистограммы распределения высоты границы леса в начале и конце исследуемого периода. Стандартные статистики распределений были использованы для оценки сдвигов. Вертикальный сдвиг находили как разность между величинами средних значений каждого из распределений.

При оценке изменений температуры и осадков были проанализированы временные ряды (с конца XIX века по настоящее время) среднемесячных значений данных параметров на ближайшей к району исследований метеостанции «Златоуст», удаленной от него на расстояние 80 км в северо-восточном направлении. Высота станции над уровнем моря составляет 468 м.

Результаты исследований и их обсуждение

Проведенные в 2006 году исследования состава, структуры и высотного распределения лесных сообществ, произрастающих на верхнем пределе своего распространения на горном массиве Ирмель, показали наличие в них существенных изменений по сравнению с данными исследований С. Г. Шиятова, выполненных в 1973 году.

Сравнительный анализ данных 1973 и 2006 годов показал, что за этот период верхняя граница редколесий сместилась выше в горы на большинстве склонов района исследований (см. рис. 2). При этом изменение высоты произрастания древесной растительности было отмечено не только на пологих, но и на крутых, достаточно каменистых склонах (см. таблицу).

Изменение доминирования видов в древостоях, произраставших в 1973 году на верхней границе редколесий

Гора	Год исследования	Протяженность верхней границы мелколесий, км	Доминант древесного яруса					
			ель сибирская		в том числе чистый ельник		береза извилистая	
			км	%	км	%	км	%
Малый Ирмель	1973	15,54	13,13	84	7,49	48	2,41	16
	2006	15,28	13,94	91	9,85	64	1,34	9
Большой Ирмель	1973	17,12	15,53	91	8,56	50	1,59	9
	2006	16,65	15,91	96	10,49	63	0,74	4
Итого	1973	32,66	28,66	88	16,05	49	3,99	12
	2006	31,93	29,85	93	20,34	64	2,08	7

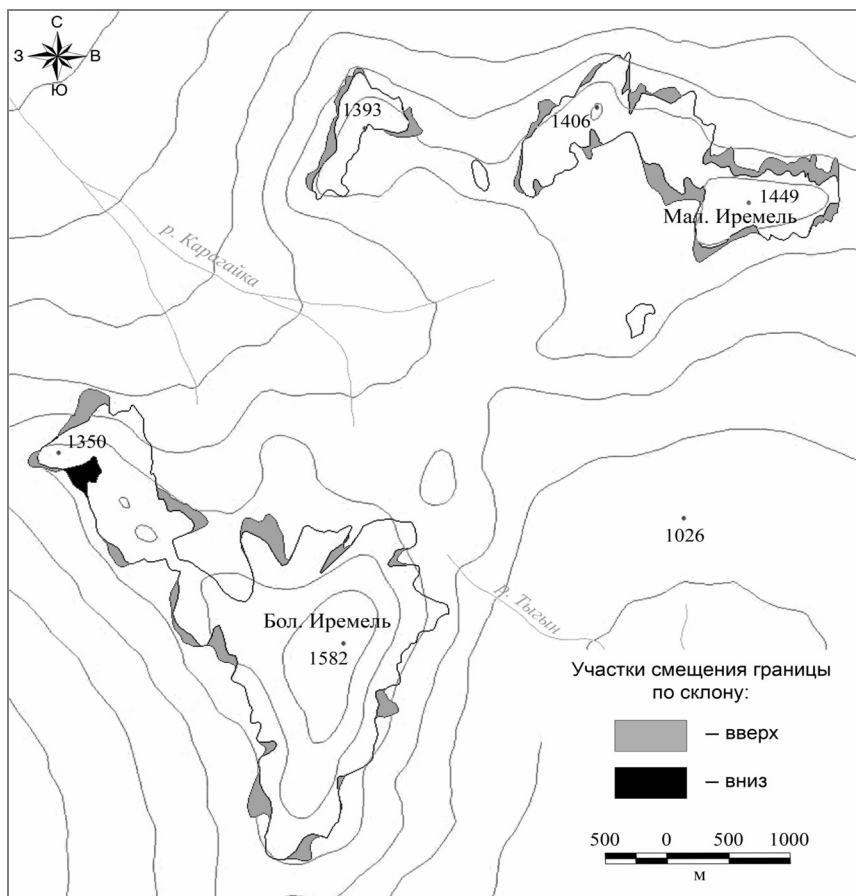


Рис. 2. Картограмма участков смещения границы редколесий по склонам горного массива Ирмель (1973–2006 гг.)

Данные таблицы свидетельствуют о зарастании склонов горного массива Ирмель за последние 33 года. Общая протяженность верхней границы леса сократилась на 730 м и составила 31,93 км. Наряду с этим было отмечено уменьшение протяженности границы с преобладанием березы извилистой и увеличение ее с доминированием ели сибирской на 5% в целом по массиву: с 12 до 7% и с 88 до 93% соответственно. При этом

увеличение роли еловых древостоев лучше выражено на склонах Малого Иремеля. Это связано, по-видимому, с большей увлажненностью открытых ветрам западного и южного склонов данной вершины.

Аналогичные изменения породного состава были отмечены на границе 1973 года, о чем свидетельствует повторная ландшафтная фотосъемка и актуализация материалов исследований. Одновременно с изменением видового состава древостоев на данном рубеже произошло существенное увеличение их сомкнутости, что в среднем по массиву составляет 16 % (с 20 до 36 %). Максимальное увеличение отмечено в березовых древостоях на склонах Большого Иремеля с 18 до 51 % (33 %). При этом сомкнутость еловой границы максимально увеличилась на Малом Иремеле с 22 до 40 % (18 %).

Наблюдаемые по материалам полевых исследований изменения обусловлены улучшением климатических условий для появления и роста ели на верхнем пределе распространения древесной растительности. Этому процессу также способствует наличие островков березовых мелкоколесий и елового стланика, предохраняющих молодое поколение ели от действия отрицательных температур и способствующее накоплению снежного покрова на ветрообдуваемых склонах горного массива. Это обеспечивает выживание ели на ранних этапах онтогенеза и выход ее в верхний ярус древостоев, на что указывает увеличение количества «чистого» ельника (с 49 до 64 % в целом по массиву) на современном рубеже верхней границы редколесий.

Проведенные исследования показали, что зарастанию склонов и расселению древесной растительности на горном массиве Иремель сопутствует наличие обширных участков с достаточно развитым почвенным субстратом. В целом по массиву протяженность участков с каменистыми россыпями на рубеже верхней границы 1973 и 2006 годов составляет 37 и 40 % соответственно. Это означает, что более половины всех участков, где на текущий момент произрастает древесная растительность, годится для дальнейшего ее расселения. Тем не менее, на долю эдафически обусловленной границы в целом по массиву на текущий момент приходится 67 % ее протяженности, 15 % занимает ветровой тип, 11 – термически-ветровой и 7 % – остальные (курумно-ветровой, термический, снеговой).

Разработанная нами методика по оценке пространственной динамики растительных рубежей показала, что наибольшие значения среднего горизонтального сдвига границы редколесий вверх по склонам массива установлены на участках с преобладанием березы извилистой и составляют 97 м. Смещение еловых редколесий в среднем составляет 83 м по всему массиву. Анализ величины горизонтального сдвига границы в зависимости от экспозиции склонов показал, что наибольшие средние смещения в целом по массиву произошли на северных (95 м), северо-восточных (81 м), северо-западных (97 м) и западных (82 м) направлениях. При этом все склоны указанных направлений можно отнести к слабо прогреваемым прямой солнечной радиацией, что обусловлено рельефом местности. Объяснить такие значительные сдвиги характером рельефа и действием преобладающих ветров, отвечающих за поступление и высотное перераспределение осадков по территории района исследований, довольно затруднительно. Можно предположить, что древесная растительность к настоящему времени заняла участки склонов, пригодные для ее произрастания, но недоступные в течение всего XX столетия, когда был более холодный период, из-за негативного воздействия одного или нескольких экологических факторов, например, низких температур или глубины снежного покрова [3; 6–10].

При рассмотрении средних высотных сдвигов верхней границы леса на Южном Урале было установлено, что за последние 33 года она поднялась в целом по массиву на 14 м (с 1314 до 1328 м н.у.м.). Оценка высотного уровня верхней границы позволила выявить закономерность, которая объясняет результаты оценки горизонтальных сдвигов. Приведенные данные по высотному расположению границы показывают, что наибольшее изменение ее средней высоты – на пологих склонах западной, северо-западной, северной и северо-восточной экспозиции и равно 13, 31, 19, 11 м соответственно. Наименьшие уровни изменения средних высот относятся к крутым каменистым склонам восточного (9 м), юго-восточного (4 м), южного (4 м) и юго-западного направлений (3 м).

Обратное смещение границы (см. рис. 2, затушевано черным) обусловлено полным уничтожением березово-лиственничного древостоя на данном участке лесным пожаром, в результате которого горизонтальное и высотное смещения границы вниз по склону составили 80 и 8 м соответственно.

Анализ крупномасштабных топографических карт массива Ирмель масштаба 1 : 50 000 и 1 : 100 000 1960 и 1990 годов создания также показал наличие участков смещения верхней границы леса. Однако в отличие от данных полевых исследований, на картах в качестве верхней границы указываются границы участков произрастания сомкнутого леса, что в свою очередь также можно характеризовать как верхний предел их распространения.

Заключение

Во второй половине XX века (с 1973 по 2006 гг.) в высокогорьях Южного Урала на горном массиве Ирмель установлен вертикальный подъем границы редколесий и мелколесий, а также сомкнутого леса. Данные метеорологической станции Златоуст с конца XIX по начало XXI века позволили установить факт увеличения среднесуточной температуры и суммы осадков за холодный период (ноябрь – март). Принимая во внимание потенциальную пригодность отдельных склонов для произрастания древесной растительности в верхней части массива Ирмель на границе лесных сообществ, можно с уверенностью утверждать, что вертикальное смещение границы сомкнутого леса и редколесий имеет климатогенную природу.

Работа выполнена благодаря финансовой поддержке РФФИ (гранты № 06-04-49359 и 05-04-48466).

Библиографический список

1. Горчаковский П.Л. Растительный мир высокогорного Урала. М.: Наука, 1975.
2. Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Физиономическая и экологическая дифференциация верхней границы леса на Северном Урале // Записки Свердловского отд-ния ВБО. Вып. 5. Свердловск, 1970.
3. Моисеев П.А. и др. Влияние изменения климата на формирование поколений Ели Сибирской в подгольцовых древостоях Южного Урала // Экология. 2004. Вып. 35. № 3.
4. Растительность Южного Урала на участке между Ильменским заповедником и горой Ирмель: (Путеводитель ботанической экскурсии) / Под ред. П.Л. Горчаковского. Свердловск: Ин-т экол. раст. и жив. УНЦ АН СССР, 1982.

5. *Цветаев А.А.* Горы Иремель (Южный Урал): Физико-географический очерк. Уфа, 1960.

6. *Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В.* Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале // *Экология*. 2005. Вып. 36, № 2.

7. *Holtmeier F.-K.* Mountain Timberlines // *Ecology, Patchiness and Dynamics*. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, 2003.

8. *Körner Ch.* Alpine Plant Life. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1999.

9. Kullman L. Recent reversal of Neoglacial climate cooling trend in the Swedish cands as evidenced by mountain birch tree-limit rise // *Global and Planetary Change*. 2003.

10. *Shiyatov S.G.* The upper timberline dynamics during the last 1100 years in the Polar Ural Mountains // *Oscillations of the alpine and polar tree limits in the Holocene* (ed. by Burkhard Frenzel. Co-ed. by Matti Eronen and Birgit Glaser). Stuttgart; Jena – New York: Gustav Fischer Verlag, 1993.

Описаны изменения в составе, структуре и высотном распределении лесных сообществ, произрастающих на верхнем пределе своего распространения на горном массиве Иремель (Южный Урал) во второй половине XX века. Проведен количественный анализ вертикального и горизонтального сдвигов верхней границы редколесий в географической информационной системе. Установлен подъем границы леса за период с 1973 по 2006 гг. Изменения обусловлены происходившими в последние десятилетия потеплением и увлажнением климата.

* * *

Change of structure, species composition and altitude position of highland forest ecosystems in mountain massif Iremel (Southern Urals) in the second half of XX century were described. Analysis of horizontal and altitude displacement was implemented in geographic information systems with the use of early developed method. Comparative analysis of materials collected in 1973 and 2006 allows us to define upward shift of open forest boundary practically for almost all of slopes of massif. These changes are explained by climate warming and increasing humidity.