



Капралов Денис Сергеевич

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ  
ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА НА СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ УРАЛЕ**

Специальность 06.03.03 – Лесоведение и лесоводство;  
лесные пожары и борьба с ними

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Екатеринбург 2007

Работа выполнена на кафедре прикладной физики и биофизики Уральского государственного лесотехнического университета в совместной (УГЛТУ и Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН) научно-исследовательской лаборатории ГИС-технологий в области наук о лесе и экологии.

**Научный руководитель:** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Фомин Валерий Владимирович

**Консультант:** доктор биологических наук, профессор Шавнин Сергей Александрович

**Официальные оппоненты:** доктор биологических наук, профессор Санников Станислав Николаевич

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Шевелина Ирина Владимировна

**Ведущая организация:** кафедра экологии Уральского государственного университета им. А.М. Горького

Защита состоится «8» ноября 2007 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 Уральского государственного лесотехнического университета по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного лесотехнического университета

Автореферат разослан «5» октября 2007

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
проф., д.с.-х.н.



Л. И. Аткина

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Факты вертикального сдвига верхнего предела лесов в прошлом давно известны и достаточно хорошо описаны. Однако, до конца XX века, исследования носили, в основном, описательный, качественный характер, что затрудняло оценку скорости происходящих процессов и понимание причин наблюдаемых явлений. Принимая во внимание колоссальную биосферную роль лесов, их средообразующую функцию, в том числе влияние на климат, необходимо проводить исследования пространственно-временной динамики растительных рубежей на количественном уровне. Полученные результаты должны способствовать прогнозированию возможных положительных и отрицательных последствий климатогенной динамики лесов для населения Земли. Что особенно актуально на фоне интенсивного развития промышленности и постоянного уменьшения покрытой лесом площади.

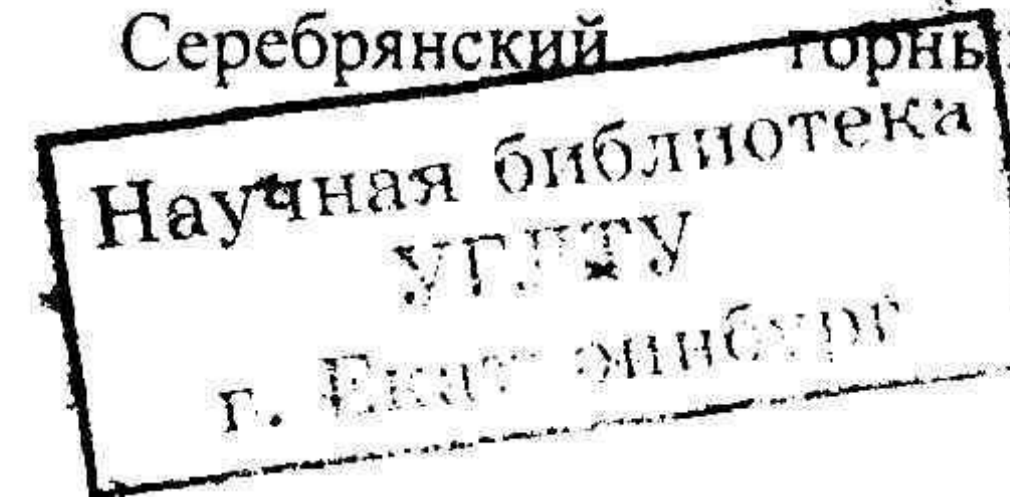
**Цель и задачи исследования.** Целью работы - изучение пространственно-временной динамики древостоев, произрастающих на верхнем пределе своего распространения, на территории Северного (Тылайско-Кожакоско-Серебрянского горный массив) и Южного Урала (горный массив Ирмель) во второй половине XX века.

Основными задачами исследований являлись:

1. Сбор и анализ материалов по изменению пространственного положения верхней границы леса и ее структуры во второй половине XX века на территории районов исследований;
2. Разработка методов количественной оценки сдвигов верхней границы леса.
3. Определение общих закономерностей изменения климата Уральского региона, которые послужили причиной изменения пространственного положения растительных сообществ за исследуемый период.

**Научная новизна** заключается в следующих основных результатах исследований, полученных автором в ходе работы над диссертацией и выносимых на защиту:

1. Проведено повторное картирование и описание верхней границы лесов горных массивов Северного и Южного Урала в 2005-2006 гг по методикам и с использованием картографических материалов проф. С. Г. Шиятова, созданным в пятидесятых-семидесятых годах XX века;
2. Выполнен анализ пространственного положения и породного состава древостоев на основе планов лесонасаждений 1956, 1968, 1981, 1990 и 1998 годов лесоустройства (Талайско-Конжаковско-Серебрянский горный массив) и разновременных



топографических карт (горный массив Ирмель) с использованием геоинформационной системы;

3. Разработан алгоритм количественной оценки величины горизонтального и вертикального смещения верхней границы леса района исследований, с использованием геоинформационной системы;
4. Проведено сопоставление результатов динамики верхней границы лесов по материалам дистанционных и наземных исследований;
5. По данным метеорологических наблюдений установлен факт изменения климата районов исследований в сторону потепления и увеличения количества осадков во второй половине XX века.

**Практическая ценность работы.** Проведение региональных исследований климатогенной динамики высокогорных систем должно послужить надежным и достоверным источником информации о скорости и направлении происходящих изменений в растительном покрове. Результаты исследований могут быть использованы для составления рекомендаций по ведению лесного хозяйства и назначению лесохозяйственных мероприятий, направленных на формирование высокопродуктивных лесов. Кроме того, разработанные в процессе исследований методики могут найти применение не только в экологическом мониторинге лесных рубежей, но в других областях науки, связанных с оценкой результатов пространственной динамики границ.

**Апробация работы.** Результаты исследований были оценены дипломом первой степени на региональном конкурсе научных работ студентов и аспирантов по актуальным экологическим проблемам Свердловской области (Екатеринбург, 2003). Работа апробирована на следующих конференциях: «Проблемы глобальной и региональной экологии» (Екатеринбург, 2003); всероссийской научно-практической конференции «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Экологические аспекты» (Красноярск, 2004); «Экологические механизмы динамики и устойчивости биоты» (Екатеринбург, 2004); «Экология: от генов до экосистем» (Екатеринбург, 2005); «Экология в меняющемся мире» (Екатеринбург, 2006); «Влияние изменения климата на бореальные и умеренные леса» (Екатеринбург, 2006).

**Публикация результатов исследования.** По материалам исследований опубликовано 8 научных работ.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка цитируемой литературы и приложений, изложена на 149 страницах машинописного текста, включает 24 таблицы, и 20 рисунка. Список литературы содержит 144 библиографических источника, в том числе 25 иностранных.

## ГЛАВА 1. ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСОВ, КАК ИНДИКАТОР ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЗЕМЛИ

Биосфера, как любая другая экосистема, обладает рядом признаков и свойств, среди которых наиболее важными для человечества являются сбалансированность, устойчивость и способность к саморегуляции. Основным действующим звеном в системе такого масштаба, так или иначе, влияющем на все ее компоненты, является климат. От его параметров (температуры, количества осадков, влажности) зависит относительно стабильное существование живых организмов и ход эволюционных процессов. При этом в доисторический период, климат Земли регулировался исключительно геологическими и космическими процессами. В последние десятилетия происходят значительные изменения в климатической системе Земли и экосистемах разного уровня, от мирового океана до отдельных лесных массивов. Одной из причин изменения климата является антропогенное воздействие (уничтожение лесов, аэропромышленные выбросы, прямой нагрев атмосферы источниками тепла и увеличение концентрации CO<sub>2</sub>).

Одним из перспективных и достоверных источников информации о климате настоящего и прошлого являются лесные сообщества, находящиеся на верхнем пределе своего существования. Такое внимание к высокогорным лесным сообществам обусловлено их хорошо выраженной реакцией даже на незначительные изменения условий среды, что подтверждают исследования во многих горных районах Земли (Тихомиров, 1941; Галазий, 1954; Шиятов, Мазепа, Чехлов, 2002; Моисеев и др., 2004; Шиятов, Терентьев, Фомин, 2005; Шиятов и др., 2007; Shiyatov, 1993; Körner, 1999; Holtmeier, 2003; Kullman, 2001; 2003). При этом Уральских хребет, среди других высокогорий особенно интересен для проведения таких исследований. Это объясняется относительной доступностью объектов изучения и значительной протяженностью Уральских гор с севера на юг, что позволяет одновременно наблюдать динамику растительных сообществ в различных климатических зонах.

## ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Районы исследований - Тылайско-Кожакоско-Серебрянский горный массив (59°30'–59°40' с. ш., 59°00'–59°20' в. д.) и массив Ирмель (54°40'–54°50' с. ш., 58°45'–59°00' в. д.). Они расположены в северной и южной частях Уральского хребта соответственно. Основная отличительная особенность данных районов состоит в том, что высокогорная растительность, произрастающая на них, не подвержена существенному влиянию антропогенных факторов и способна подниматься до своего термически обусловленного предела (Горчаковский, Шиятов, 1970, 1974).

**Тылайско-Конжаковско-Серебрянский горный массив** находится в южной части восточного макросклона Северного Урала в лесной (таежной) зоне на границе северной и южной подзон тайги (Горчаковский, 1966). Территория района представлена единым горным хребтом с отходящими от него в стороны многочисленными отрогами. Общая площадь массива 156,9 км<sup>2</sup>. На едином основании массива возвышаются три горные вершины: Тылайский камень (1470,8 м н.у.м), расположенный в западной его части, Конжаковский камень (1567,7 м н.у.м) - на севере и Серебрянский камень (1305 м н.у.м) - на востоке. Протяженность Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива по длинной оси с запада на восток составляет около 14 км.

Массив сложен пероксенитами, дунитами и габбро, в составе относительно пологих седловин моренного характера встречаются черно-синяя глина и озерные отложения.

Климат в районе Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива холодный и избыточно влажный. Это обусловлено тем, что массив приурочен к центральной хребтовой части среднегорной провинции Северного Урала, где происходит существенная трансформация и задержка влажных атлантических воздушных масс и циклонов. Летний период относительно короткий и умеренно теплый, зимний - длинный и холодный, с ранним становлением снежного покрова.

В районе преобладают северо-западные ветры, средняя скорость которых находится в диапазоне от 2,4-4,5 (в межгорных депрессиях) до 8-9 м/с (в гольцовой части).

**Горный массив Ирмель** расположен в пределах северной части Южного Урала в полосе наиболее высоких центральных возвышенностей, простираясь с северо-востока на юго-запад на 12 км. На общем основании массива площадью около 57,9 км<sup>2</sup> расположены две вершины - Большой и Малый Ирмель, высотой 1582 и 1449 м н.у.м. соответственно. Между ними простирается относительно длинная (около 3 км) и пологая седловина (1223-1300 м н.у.м) (Растительность..., 1982). По характеру склонов горный массив Ирмель относится к району сопочно-хребтового рельефа. Его характерными геоморфологическими чертами являются плоские вершины и ступенчатые склоны в виде более или менее широких террас. 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.

Массив Ирмель сложен кварцевыми песчаниками, кварцито-песчаниковыми и подчиненными им темносерыми и черными (углистыми) сланцами.

Климат района отражает все основные черты климата Восточно-Европейской равнины. К ним относится прежде всего значительная континентальность, которая находит отражение в годовой амплитуде

температур более 30°C (Цветаев, 1960). Погодные условия характеризуется непостоянством и резкой их сменой. Это обусловлено влиянием в районе нескольких воздушных масс: относительно влажного атлантического, арктического континентального и тропического воздуха.

Верхняя граница леса на склонах горного массива Ирмель формируется под действием постоянных и сильных ветров (в среднем 9-13 м/с), о чем свидетельствует наличие флагообразных, кустовых и стланиковых форм роста деревьев на верхнем пределе. Зимой преобладают ветры южного направления, а летом - северо-западного.

Растительность Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива и массива Ирмель достаточно разнообразна. В состав основных поясов растительности, представленных на склонах районов исследований, входят горно-лесной, подгольцовый и горно-тундровый. Горные тундры и темнохвойные леса горно-лесного пояса слагаются в основном бореальными видами, среди которых преобладают ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) и береза извилистая (*Betula tortuosa* Ledeb.). На Северном Урале также широко распространен кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour). В нижних частях гор встречаются сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и осина (*Populus tremula* Ledeb.).

Исследования верхней границы леса высокогорий Северного и Южного Урала были выполнены по следующей программе:

1. Анализ литературных источников на предмет описания структуры и положения, а также пространственно-временной динамики верхней границы леса в пределах Уральского хребта.

2. Сбор и анализ данных о природно-климатических условиях, растительности, геологических и гидрологических особенностях районов исследований.

3. Сбор и обработка картографического материала разных лет создания и данных дистанционного зондирования земной поверхности районов исследований. Создание цифровых моделей местности (ЦМР).

4. Натурная актуализация данных исследований верхней границы леса С.Г. Шиятова 1956 (Северный Урал) и 1973 гг (Южный Урал), и определение произошедших изменений в структуре и пространственном положении лесных сообществ на верхнем пределе их произрастания.

5. Количественная оценка параметров пространственно-временной динамики лесных сообществ.

6. Оценка многолетней динамики базовых климатических показателей и выявление общих закономерностей, повлекших за собой изменения в растительном покрове высокогорий Северного и Южного Урала

На первоначальном этапе работ по топографическим картам М 1:100000 Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива и массива Иремель были созданы цифровые модели местности (ЦМР) в географической информационной системе ArcInfo (ESRI, США). ЦМР были использованы для ортотрансформации аэрофотоснимков и расчетов показателей пространственно-временной динамики верхней границы леса (ВГЛ).

При проведении полевых работ были использованы описания и картографические материалы, полученные в результате исследований в пятидесятых – семидесятых годах XX века С. Г. Шиятовым. Согласно использованной методике под верхней границей мелколесий понималась линия, до которой поднимаются лесные сообщества, сомкнутость крон древостоев которых была не менее 15-20%. Высотное положение этой границы было определено при помощи барометрического нивелирования и топографической карты М 1:100000. Одновременно производилось глазомерное описание состава и структуры древостоев, произрастающих в пределах верхней полосы мелколесий шириной 50–100 м. При этом фиксировались следующие показатели: состав древостоя, сомкнутость крон, средняя высота и диаметр древостоя и отдельных видов деревьев, направление флагообразности крон.

В ходе картирования верхняя полоса мелколесий 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.

В 2005 г. на Тылайско-Конжаковско-Серебрянском горном массиве и в 2006 г на массиве Иремель было выполнено повторное описание лесных сообществ, с целью выявления изменений, которые произошли в составе, структуре и высотном положении верхней границы мелколесий во второй половине XX столетия. При этом были использованы оцифрованные топографические карты М 1:25 000, на которые предварительно были нанесены данные исследований прошлых периодов (высотное положение верхней границы мелколесий и редколесий, границы выделов, состав древостоев, высоты точек барометрических замеров). Местонахождение выделов и точек, описанных при проведении работ в 1956 (Северный Урал) и 1973 (Южный Урал) гг, определялось на местности при помощи топокарты, барометрического высотомера и приемника GPS.

При повторном описании лесных сообществ на выделах прошлого периода исследований было установлено, что за истекший период времени их верхняя граница с сомкнутостью крон древостоев более 15-20% поднялась выше в горы на большинстве склонов как Тылайско-Конжаковско-Серебрянского, так и горного массива Иремель. В связи с этим были проведены работы по картированию и описанию современной границы мелколесий и редколесий по методике С. Г. Шиятова, для целей

дальнейшего сравнения полученных результатов. Кроме того, для оценки изменений, которые произошли в высокогорной растительности, были использованы повторные ландшафтные фотоснимки с точек фотосъемки, сделанных С. Г. Шиятовым и другими исследователями в 1956, 1957, 1969 гг по Северному и в 1929, 1956, 1973 по Южному Уралу.

По данным разновременных полевых исследований в географической информационной системе ArcInfo были созданы векторные цифровые картосхемы, характеризующие высотное положение верхней границы мелколесий и редколесий, а также содержащие атрибутивную информацию с характеристиками древостоев ВГЛ Тылайско-Конжаковско-Серебрянского и горного массива Иремель.

Для оценки пространственно-временной динамики сомкнутых лесов были использованы таксационные планы лесонасаждений 1955, 1968, 1981, 1990 и 1998 годов лесоустройства на Тылайско-Конжаковско-Серебрянский горный массив и топографические карты 1960 (М 1:50000) и 1990 (М 1:100000) гг создания на массив Иремель. На основе указанных материалов в ГИС ArcInfo созданы векторные покрытия, характеризующие положение участков сомкнутого леса в начале и конце исследуемых периодов.

Количественная оценка смещения верхней границы мелколесий и редколесий (по данным полевых работ) и сомкнутых лесов (по топографическим картам и таксационным планам лесонасаждений) во второй половине XX века было одной из основных целей проводимых исследований. При этом была произведена оценка как вертикального, так и горизонтального сдвигов данных лесорастительных рубежей в пространстве.

Оценка величины горизонтального смещения ВГЛ была выполнена в ГИС ArcInfo по специально разработанному алгоритму (рис 1), реализованному на языке программирования АМЛ. В основе методики лежит расчет буферных областей в виде полигональных покрытий, границы которых равноудалены от исходной линии, характеризующей положение границы мелколесий (редколесий) и сомкнутых лесов в начале периода исследований. Величина каждой буферной зоны кратна размеру ячейки ЦМР района исследований. В результате объединения рассчитанных полигональных покрытий (буферов), был получен слой, содержащий буферные области, последовательно сменяющие друг друга. После растеризации данного слоя на него было наложено растровое покрытие контуров ВГЛ в конце исследуемого периода (рис 1, Б). Таким образом, каждой ячейке границы мелколесий (редколесий) и сомкнутых лесов в конце периода соответствует ячейка буферного слоя, содержащая величину горизонтального смещения от исходного положения в начале периода (рис 1, В). Количественная оценка величины горизонтального

смещения границы лесных сообществ была выполнена с использованием статистик распределения (рис 1, Г).

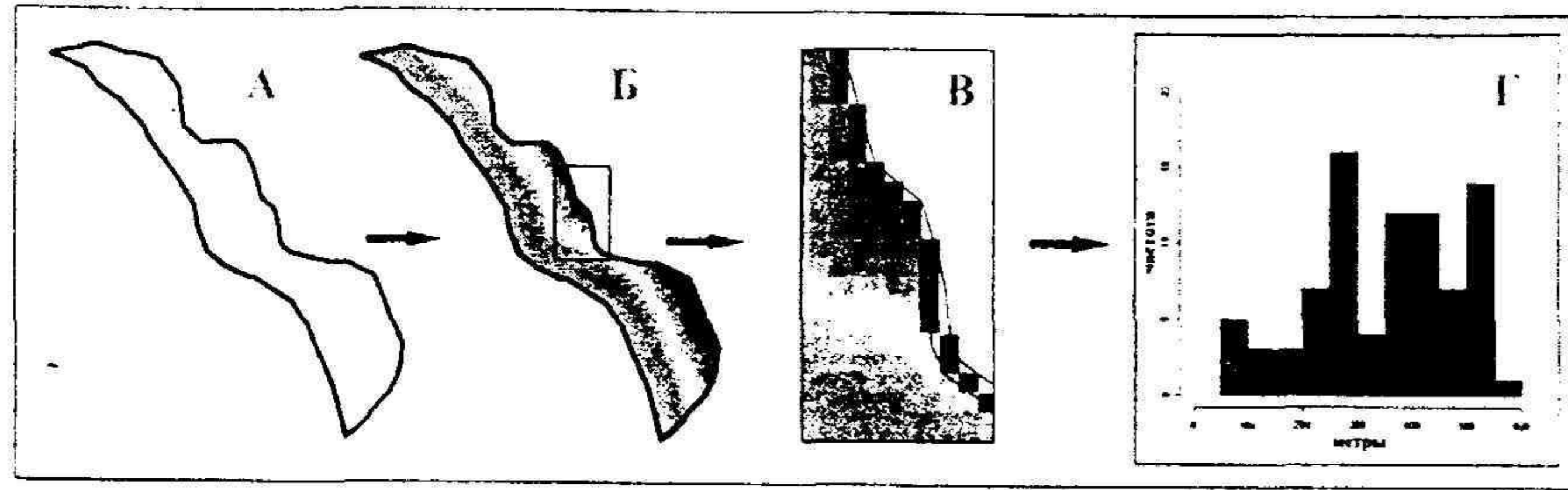


Рис 1. Методика оценки горизонтального сдвига лесорастительных границ

Оценка вертикального сдвига осуществлялась в ГИС ArcInfo путем наложения границ (редколесий или сомкнутых лесов) в начале и конце исследуемого периода на цифровую модель рельефа. В результате этой процедуры получают два распределения высот. Сравнение статистик этих распределений дает информацию о величине сдвига.

Анализ современного состояния климата и его динамики в районах исследований за XX столетие был выполнен на основе средних месячных данных метеорологических наблюдений станций «Карпинск» (187 м н.у.м, Северный Урал) и «Златоуст» (486 м н.у.м, Южный Урал), расположенных в 60 и 80 км от районов исследований соответственно. Были проанализированы временные ряды количества атмосферных осадков, температуры и влажности воздуха. Кроме того, для оценки изменения влажности климата районов исследований во второй половине XX века были рассчитаны показатели гидротермического баланса по формулам плювиотермического коэффициента и показателя увлажнения Н.Н. Иванова (Педь, 1975).

Статистическая обработка данных была выполнена в статистическом пакете "R" (R Core Team www.r-project.org).

### ГЛАВА 3. ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕСОВОДСТВЕННО-ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВОСТОЕВ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВЕКА НА СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ УРАЛЕ

В 2005 (на Северном Урале) и 2006 г (на Южном Урале) проведены повторные натурные обследования древостоев, произраставших в пределах верхней полосы мелколесий и редколесий шириной 50-100 метров на склонах Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива и массива

Иремель в 1956 и 1973 гг соответственно. Сравнительный анализ материалов разновременных исследований показал, что во второй половине XX века произошли существенные изменения в составе, структуре и высотном положении исследуемых лесных сообществ.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что на склонах Тылайско-Конжаковско-Серебрянского массива за период 1956-2005 гг произошло существенное увеличение березы извилистой в составе древостоев, ранее формировавших верхнюю границу распространения лесной растительности. Если в 1956 г. в целом по массиву протяженность выделов с преобладанием березы составляла 37%, то в 2005 их доля увеличилась на 16% (до 53%). Наиболее интенсивно рост и расселение березы происходил на склонах Серебрянского Камня, где протяженность березовых мелколесий увеличилась на 26% (с 20 до 46%). На Конжаковском и Тылайском Камнях также произошло увеличение протяженности границы с доминированием березы на 14 и 5% соответственно.

Таблица 1

Изменение доминирования древесных видов в древостоях, произраставших в 1956 г. на верхней границе редколесий Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива

Гора	Протяженность верхней границы мелколесий, км	Год обследования	Доминанты древесного яруса							
			береза извилистая		ель сибирская		кедр сибирский		лиственница сибирская	
			км	%	км	%	км	%	км	%
Тылайский камень	17,87	1956	8,32	47	9,08	51	0,46	3	-	-
		2005	9,25	52	7,53	42	1,09	6	-	-
Конжаковский камень	28,79	1956	13,60	47	5,05	18	5,61	19	4,53	16
		2005	17,49	61	2,01	7	5,61	19	3,67	13
Серебрянский камень	26,04	1956	5,16	20	-	-	7,49	29	13,39	51
		2005	11,90	46	-	-	6,79	26	7,35	28
Итого	72,70	1956	27,09	37	14,13	19	13,56	19	17,93	25
		2005	38,64	53	9,54	13	13,49	19	11,03	15

Доминирование хвойных видов на границе редколесий 1956 г. за исследуемый период снизилось или осталось неизменным (табл. 1). Так лиственница сибирская и ель сибирская утратили свои позиции в целом по массиву на 10 и 6% соответственно, в то время как доля кедра сибирского осталась на прежнем уровне (19%). Наибольшему изменению подверглись, лиственничные и березово-лиственничные древостои Серебрянского Камня, где с возрастанием роли березы лиственница утратила 23% (с 51 до 28%) ранее занимаемых участков. Протяженность выделов с доминированием ели снизилась как на Тылайском (на 9%), так и на Конжаковском Камне (на 11%). Колебание доли кедра сибирского в составе границы зафиксировано, как в сторону ее увеличения (на

Тылайском Камне – 3%), так и в сторону уменьшения (на Серебрянском Камне – 3%).

Таблица 2

Изменение доминирования древесных видов в древостоях, произрастающих в 1973 г. на верхней границе мелколесий и редколесий горного массива Ирмель, за последние 33 года

Гора	Год обследования	Протяженность верхней границы редколесий, км	Доминант древесного яруса					
			ель сибирская		в том числе чистых ельников		береза извилистая	
			км	%	км	%	км	%
Малый Ирмель	1973	15,54	13,13	84	7,49	48	2,41	16
	2006	15,54	14,08	91	8,11	52	1,46	9
Большой Ирмель	1973	17,12	15,53	91	8,56	50	1,59	9
	2006	16,74	15,68	94	8,69	52	1,06	6
Итого по массиву	1973	32,66	28,66	88	16,05	49	3,99	12
	2006	32,28	29,76	92	16,8	52	2,52	8

В отличие от высокогорий Северного Урала, на Южном Урале (горный массив Ирмель) увеличение березы извилистой на верхнем рубеже распространения лесной растительности с 1973 по 2006 гг не установлено. Более того, данные табл. 2, свидетельствуют о сокращении березовой границы, и увеличение еловой, что в целом по массиву составило 4%, с 12 до 8% и с 88 до 92% соответственно. Наиболее интенсивно ель вытесняла березу на склонах Малого Ирмеля, где увеличение еловых и уменьшение березовых древостоев составило 7% от общей протяженности границы. Наряду с увеличением выделов с доминированием ели по составу, также установлен рост протяженности «чистых» ельников с 49 до 52% в целом по массиву.

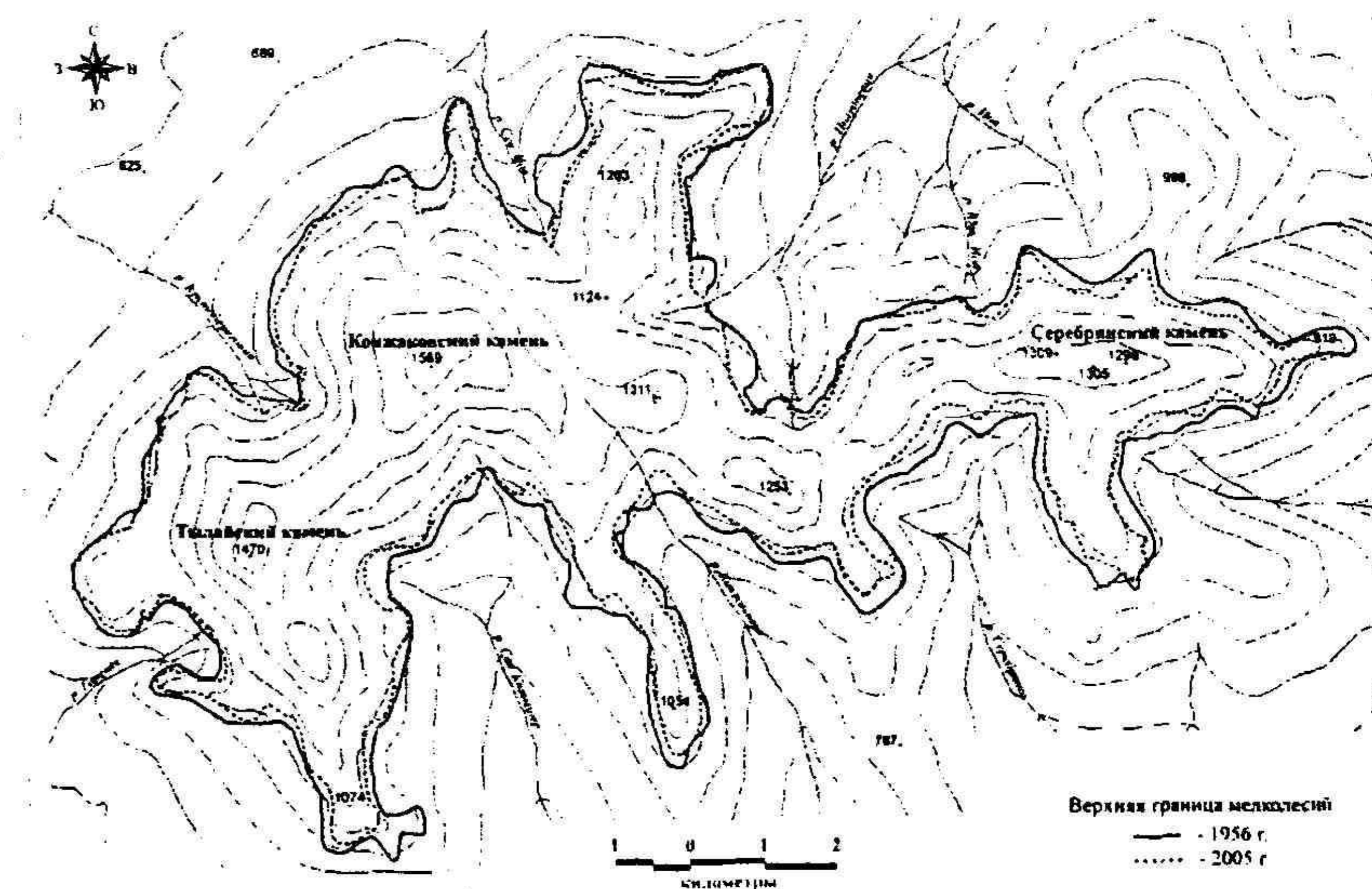
Одновременно с изменением видового состава древостоев ВГЛ произошло увеличение их сомкнутости на 15% (с 45 до 60%) и 16% (с 20 до 36%), на Северном и Южном Урале соответственно. При этом рост средней высоты древостоев был отмечен только на Тылайско-Конжаковско-Серебрянском горном массиве и составил 1,2 м (с 4,0 до 5,2 м) в целом по району.

При проведении работ по актуализации материалов прошлых исследований в высокогорьях Северного и Южного Урала был установлен факт поднятия верхнего предела распространения лесной растительности выше в горные тундры (рис 2 и 3).

Анализ распространения появившихся после 1956 (на Северном Урале) и 1973 (на Южном Урале) годов лесных сообществ показал, что они, как правило, приурочены к местам накопления мелкозема, расположенных на многочисленных горных террасах, уступах и по каменистым ложбинам. Таким образом, современная граница мелколесий

и редколесий отличается от предыдущей тем, что в ее полосе присутствуют значительные по площади участки каменистых россыпей и луговины.

Рис. 2. Картосхема расположения верхней границы мелколесий и



редколесий на Тылайско-Конжаковско-Серебрянском горном массиве в 1956 и 2005 гг.

В табл. 3 приведены количественные данные о доминировании различных видов деревьев на верхней границе редколесий Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива в 1956 и 2005 гг. В связи с подъемом границы выше в горы, ее протяженность в целом по массиву в 2005 г. сократилась и составила 69,79 км, что на 2,91 км меньше, чем в 1956 г.

Сравнительный анализ породного состава границ 1956 и 2005 гг свидетельствует об интенсивном расселении березы извилистой в горные тундры в течение последних 50 лет (табл. 3). Доминирование березы на современной рубеже распространения редколесий увеличилось по сравнению с предыдущим периодом на 17% (с 37 до 54%) в целом по массиву. Наиболее интенсивно продвижение березовых редколесий в горные тундры наблюдалось на склонах Серебрянского Камня, где их доля в 2005 г составила 43%, что на 23% больше чем в 1956 г. На склонах вершин Тылайского и Конжаковского Камней также установлено увеличение доли березы за исследуемый период на 11 и 15% соответственно.

Таблица 3

Протяженность верхней границы редколесий в 1956 и 2005 гг. с учетом доминирования различных древесных пород

Гора	Год обследования	Протяженность верхней границы мелколесий, км	Доминант древесного яруса							
			Береза извилистая		Ель сибирская		Кедр сибирский		Лиственница сибирская	
			км	%	км	%	км	%	км	%
Тылайский камень	1956	17,87	8,32	47	9,08	51	0,46	3	-	-
	2005	16,16	9,40	58	5,34	33	1,42	9	-	-
Конжаковский камень	1956	28,79	13,60	47	5,05	18	5,61	19	4,53	16
	2005	28,25	17,49	62	0,44	2	7,36	26	2,95	10
Серебрянский камень	1956	26,04	5,16	20	-	-	7,49	29	13,39	51
	2005	25,38	10,92	43	-	-	3,60	14	10,86	43
Итого	1956	72,70	27,09	37	14,13	19	13,56	19	17,93	25
	2005	69,79	37,82	54	5,78	8	12,38	18	13,81	20

Доминирование хвойных видов в пределах современной верхней границы распространения лесной растительности в целом по горному массиву уменьшилось. В наибольшей степени сократилась протяженность ельников (на 11% в целом по массиву), уменьшение которых по склонам Тылайского и Конжаковского Камней составило 18 и 16% соответственно. Лиственница сибирская утратила в целом по массиву 5% протяженности границы, при этом в пределах отдельных вершин уменьшение достигало 6 (Конжаковский Камень) и 8% (Серебрянский Камень). Доминирование кедра сибирского в пределах Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива практически не изменилось, составив 18%, что на 1% меньше чем в 1956 г. Однако по отдельно взятым горным вершинам ситуация изменилась не однозначно. Так на Тылайском и Конжаковском Камнях протяженность верхней границы редколесий с доминированием кедра увеличилась на 6 и 7% соответственно, а на Серебрянском Камне – сократилась на 15%.

На склонах горного массива Ирмель (Южный Урал) общая протяженность верхней границы редколесий также сократилась в связи с поднятием выше в горы (рис. 3). Ее протяженность в 2006 г составила 31,93 км, что на 730 м меньше чем в 1973 г. Сравнительный анализ данных показал, что современная граница леса отличается от предыдущей, увеличением в ее составе еловых древостоев и уменьшением березовых (табл. 4). Так на склонах Малого Ирмеля протяженность еловой границы возросла на 7% (с 84 до 91%), а Большого Ирмеля на 5% (с 91 до 96%). Береза уступила 7 и 5% протяженности границы, на Малом и Большом Ирмеле соответственно. Кроме того, было установлено, что на современном рубеже распространения лесных сообществ количество «чистых» ельников в целом по массиву больше чем в 1973 на 15%. Это

особенно заметно на склонах Малого Ирмеля, где их количество в 2006 г составило 64% от общей протяженности границы. Это на 16% больше чем в 1973 г. Принимая во внимание факт увеличения количества «чистых» ельников и сокращения березовых древостоев на границе 1973 года, можно с уверенностью говорить об интенсивном расселении и росте ели в высокогорьях Южного Урала за последние 33 года.

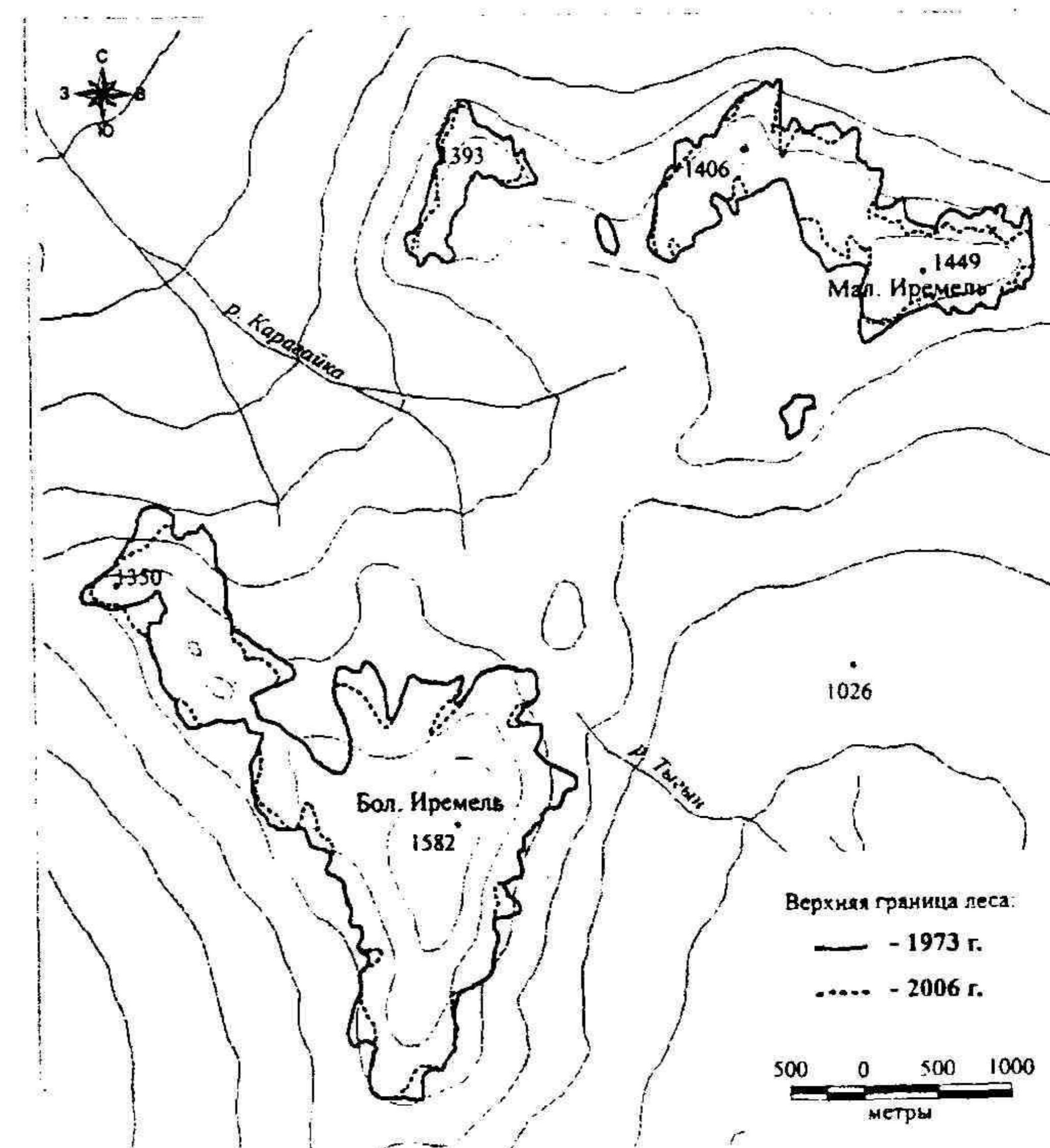


Рис. 3. Картограмма участков смещения верхней границы леса горного массива Ирмель с 1973 по 2006 г.

Сравнительный анализ материалов исследований разных лет также показал, что современные редколесья высокогорий Северного и Южного Урала отличаются от предшествующих (описанных С.Г. Шиятовым). ВГЛ начала XXI века характеризуется меньшей средней высотой древостоев, что обусловлено увеличением в их составе доли относительно молодого поколения деревьев. Отличительной особенностью которых, является преобладание прямоствольной и одноствольной форм роста. Так на Северном Урале средняя высота древостоев по сравнению с 1956 годом уменьшилась на 1,3 м (с 4,0 до 2,7 м) в целом по массиву. На Южном



Урале средняя высота с 1973 по 2006 год понизилась на 1 м (с 4,1 до 3,1 м). Кроме того, современная верхняя граница мелколесий и редколесий достаточно разрежена, средняя сомкнутость крон на ее рубеже на Северном и Южном Урале составляет 27%.

Таблица 4

Протяженность верхней границы леса в 1973 и 2006 гг. с учетом доминирования различных видов древесных растений

Гора	Год обследования	Протяженность верхней границы мелколесий, км	Доминант древесного яруса					
			Ель сибирская		в том числе чистых ельников		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

Кроме линейных границ лесных сообществ на Северном Урале в ГИС были проанализированы площади, которые занимают древостой, расположенные на склонах Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива. По данным планов насаждений за период с 1955 по 1998 год произошло практически линейное сокращение площади каменистых россыпей на 16,2 км<sup>2</sup> (с 81,4 до 65,3 км<sup>2</sup>), а также древостоев с преобладанием пихты и ели по составу на 4,4 км<sup>2</sup> (с 25,4 до 21 км<sup>2</sup>). При этом, площадь лесов с доминированием кедра, березы, сосны и лиственницы, наоборот, увеличилась, на 16,2 (с 32,5 до 48,7 км<sup>2</sup>), 1,5 (с 14,1 до 15,6 км<sup>2</sup>) и 3,0 км<sup>2</sup> (с 1,5 до 4,5 км<sup>2</sup>) соответственно.

#### ГЛАВА 4. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА НА СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ УРАЛЕ

Количественная оценка пространственно-временной динамики ВГЛ выполнена в ГИС. Согласно разработанной методике были проанализированы как вертикальное, так и горизонтальное смещение верхней границы мелколесий и редколесий (по материалам полевых работ), а также границы сомкнутых лесов (по топографическим картам и таксационным планам лесонасаждений).

По материалам полевых исследований горизонтальное смещение границы лесных сообществ по медиане составило 120 м за период 1956-2005 гг на Тылайско-Конжаковско-Серебрянском горном массиве и 60 м за период 1973-2006 гг на горном массиве Ирмель (табл. 5 и 6). Высотный

сдвиг границ по медиане равен 42 и 21 м для Северного и Южного Урала соответственно.

Таблица 5

Горизонтальный и высотный сдвиги верхней границы редколесий вверх по склонам Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива во второй половине XX века

Вид сдвига	Параметры	Горные вершины			В целом по массиву
		Тылайский Камень	Конжаковски й Камень	Серебрянский Камень	
Горизонтальный	Среднее, м. н.у.м	88	119	137	118
	Медиана, м. н.у.м	90	120	120	120
	Максимум, м. н.у.м	210	360	300	360
Вертикальный	Среднее, м	35	42	46	42
	Медиана, м	37	46	43	42
	Максимум, м	29	58	47	37

Таблица 6

Горизонтальный и высотный сдвиги верхней границы редколесий вверх по склонам горного массива Ирмель за период 1973-2006 гг

Вид сдвига	Параметры	Горные вершины		В целом по массиву
		М. Ирмель	Б. Ирмель	
Горизонтальный	Среднее, м	80	89	84
	Медиана, м	60	60	60
	Максимум, м	270	300	300
Вертикальный	Среднее, м	20	25	14
	Медиана, м	31	20	21
	Максимум, м	19	2	3

Анализ пространственного положения верхней границы сомкнутых лесов, выполненный на основе таксационных планов лесонасаждений разных лет создания и топографических карт, также показал наличие смещение данного рубежа выше в горы во второй половине XX века. Количественно установлено, что медиана высотного сдвига с 1955 по 1998 г на Тылайско-Конжаковско-Серебрянском горном массиве и с 1960 по 1990 на горном массиве Ирмель составила 50 и 25 м соответственно. Горизонтальный сдвиги за указанные периоды равны 285 и 270 м (по медиане) для районов Северного и Южного Урала соответственно.

#### ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО УРАЛА ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Анализ данных инструментальных наблюдений метеостанции «Карпинск» (Северный Урал) и «Златоуст» (Южный Урал) во второй половине XX века показал, что в районах исследований произошло

существенное увеличение температуры воздуха и количества атмосферных осадков. При этом тренд увеличения данных климатических характеристик, наблюдается еще с конца XIX столетия. Было установлено, что за последние 100 лет среднегодовая температур воздуха Северного Урала поднялась примерно на 1,7°C. При этом темпы увеличения среднегодовых температур на Южном Урале за аналогичный период были значительно ниже, менее 0,1°C. Анализ многолетней динамики среднемесячных температур показал, что основное потепление приходится на холодный период года (октябрь-март). Так на Северном Урале оно составляет - 3,1°C, на Южном - 0,07°C. Средние температуры теплого периода (май-сентябрь) в пределах районов исследований практически не изменились. Наряду с потеплением климата, подъему лесных сообществ в горы способствовало увеличение годового количества осадков, которое за XX столетие на Северном Урале выросло на 72 мм, на Южном - на 119 мм.

Анализ изменения значений гидротермических показателей (показателя увлажнения Н.Н. Иванова и плювиотермического коэффициента) в районах исследований, во второй половине XX века, свидетельствуют о том, что на Северном Урале, за последние 50 лет, теплый период года стал более влажным. Это способствовало значительному увеличению березы извилистой в составе древостоев верхней границы леса. На Южном Урале, наоборот, установлено незначительно снижение влажности климата теплых месяцев (май-сентябрь), что способствовало увеличению ели в составе березняков, произрастающих на влажных склонах, и расселению лиственницы сибирской в отдельных частях горного массива Ирмель.

### ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. По данным полевых исследований было установлено, что во второй половине XX века на границы редколесий Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива (Северный Урал) и массива Ирмель (Южный Урал) произошло существенное изменение видового состава доминантов древесного яруса и структуры исследуемых лесных сообществ.

2. В высокогорьях Северного Урала на рубеже верхней границы лесных сообществ, описанных С.Г. Шиятовым в 1956 г., установлено значительное увеличение березы извилистой и сокращения хвойных видов (лиственница, ель) в составе доминантов древесного яруса. Во второй половине XX века протяженность границы с преобладанием березы по составу, в целом по Тылайско-Конжаковско-Серебрянскому массиву, увеличилась на 16% (с 37 до 53%), при этом протяженность выделов с

преобладанием лиственницы и ели уменьшилась на 10 и 6% соответственно. Кедр сибирский не утратил своих позиций, сохранив доминирование на 19% общей протяженности границы. Кроме изменения состава древостоев за исследуемый период, было установлено увеличение средней высоты и сомкнутости древостоев на ВГЛ 1956 г. на 1,2 м (с 4,0 до 5,2 м) и 15% (с 45 до 60%) соответственно.

3. В 2006 г. на верхней границе редколесий горного массива Ирмель, описанной С. Г. Шиятовым в 1973 г., было установлено изменение породного состава в сторону увеличения доли ели сибирской и снижения березы. Анализ данных повторного описания показал, что протяженность еловой границы увеличилась за последние 33 года на 4 % (с 88 до 92%) в целом по массиву. В том числе количество «чистых» ельников возросло на 3% (с 49 до 52%). В то время как протяженность березой границы сократилось на 4% (с 12 до 8%). Наряду с изменением видового состава, сомкнутость крон лесных сообществ на границе 1973 г увеличилась в целом по массиву на 16% (с 20 до 36%). При этом средняя высота древостоев не изменилась (4,1 м), за счет увеличения доли молодого поколения.

4. По результатам повторных полевых исследований, проведенных в высокогорьях Северного и Южного Урала, достоверно установлено, что во второй половине XX века верхняя граница лесных сообществ (мелколесий и редколесий) продвинулась вверх на большинстве горных склонов. Количественный анализ пространственно-временной динамики ВГЛ показал, что за прошедшие 49 лет (с 1956 по 2005 г.) на Тылайско-Конжаковско-Серебрянском горном массиве горизонтальный сдвиг верхнего предела редколесий составил 120 м (по медиане), вертикальный - 42 м (по медиане). За 33 года (с 1973 по 2006 г) на горном массиве Ирмель медиана горизонтального и вертикального сдвигов границы равна 60 и 21 м соответственно.

5. Анализ древостоев современной границы распространения лесной растительности (мелколесий и редколесий), расположенной выше описанных в 1956 (Северный Урал) и 1973 (Южный Урал) гг лесных рубежей, свидетельствует, что во второй половине XX века наиболее активно вверх по склонам высокогорий Южного и Северного Урала продвигались березовые сообщества.

6. Факт сокращения площади каменистых россыпей и продвижения лесных рубежей выше в горы также был подтвержден анализом одновременных таксационных планов лесонасаждений и топографических карт. Количественно установлено, что медиана высотного сдвига с 1955 по 1998 г на Тылайско-Конжаковско-Серебрянском горном массиве и с 1960 по 1990 на горном массиве Ирмель составила 50 и 25 м соответственно. Горизонтальный сдвиг по медиане за указанные периоды равен 285 и 270 м для районов Северного и Южного Урала соответственно. Каменистые

россыпи, занимающие верхние части гор Тылайско-Конжаковско-Серебрянского массива, сократились на 16,2 км<sup>2</sup> (с 81,4 до 65,3 км<sup>2</sup>).

7. По данным метеорологических наблюдений метеостанций, расположенных вблизи районов исследований, установлено, что в XX столетии климат высокогорий Северного и Южного Урала стал в целом теплее. Анализ климата, проведенный с использованием гидротермических показателей (показателя увлажнения Н.Н. Иванова и плювиотермического коэффициента) свидетельствуют о том, что в Северных широтах климат стал более влажным, о чем свидетельствует увеличение березы извилистой в составе древостоев ВГЛ Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива. На Юге, наоборот, климат стал немного суше, что благоприятно сказалось на росте ели (на переувлажненных участках) и увеличении количества лиственницы сибирской на отдельных склонах горного массива Ирмель.

8. Таким образом, проведенные исследования показывают, что изменения видового состава, структуры и пространственного положения лесных сообществ высокогорий Северного и Южного Урала во второй половине XX века, могли быть вызваны лишь региональным изменением климатических факторов. Наиболее значимыми являются увеличение годового количества атмосферных осадков и повышение температура воздуха холодного периода.

#### ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ

1. Капралов Д.С., Шиятов С.Г., Моисеев П.А., Фомин В.В. Изменение в составе, структуре и высотном положении мелколесий на верхнем пределе их распространения в горах Северного Урала. // Экология, 2006, № 6, с. 403-409.
2. Фомин В.В., Капралов Д.С., Циммерманн Н.Е. Пространственно-временная динамика верхней границы леса на Южном и Северном Урале во второй половине XX // Влияние изменений климата на бореальные и умеренные леса: тезисы докладов Международной конференции. – Екатеринбург, 2006. – с. 26.
3. Фомин В.В., Капралов Д.С., Барова А.А., Шалаумова Ю.В., Устинов А.В., Крюк В.И. Динамика верхней границы леса на Южном Урале во второй половине XX века // ArcReview. Современные геоинформационные технологии, №4 (39), 2006, с. 8.
4. Капралов Д.С., Фомин В.В. Количественный анализ пространственно-временной динамики верхней границы леса во второй половине XX века на Северном Урале // Экология: от генов до экосистем: материалы конференции молодых ученых 25-29

апреля 2005 г. ИЭРиЖ УрО РАН. – Екатеринбург: Академкнига, 2005. – с. 116-121.

5. Капралов Д.С., Фомин В.В., Галеев А.С., Доброноженко А.П., Терентьев М.М. Климатогенная пространственно-временная динамика древостоев основных лесобразующих пород, произрастающих на Северном Урале на верхнем пределе их распространения // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения (экологические аспекты): сб. статей Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск, 2004. – с. 183-187.
6. Капралов Д.С. Изучение пространственно-временной динамики древостоев в конце XX века (Северный Урал, Тылайско-Конжаковско-Серебрянский горный массив) // Экологические механизмы динамики и устойчивости биоты: материалы конференции молодых ученых 19 - 23 апреля 2004 г. ИЭРиЖ УрО РАН. – Екатеринбург: Академкнига, 2004. – с. 94-96.
7. Капралов Д.С., Фомин В.В. Изучение пространственно-временной динамики лесотундровых экосистем в конце XX века с использованием дистанционных методов зондирования (гора Конжаковский камень, Северный Урал) // Материалы научно-технической конференции студентов и аспирантов / УГЛТУ. – Екатеринбург, 2003. – с. 43-44.
8. Капралов Д.С. Динамика верхней границы леса в конце XX века (гора Конжаковский Камень, Северный Урал) // Проблемы глобальной и региональной экологии: материалы конференции молодых ученых 31 марта - 4 апреля 2003 г. ИЭРиЖ УрО РАН. – Екатеринбург: Академкнига, 2003. – с. 76-79.

Подписано в печать 28.09.2007 Объем 1,0 п.л.; Заказ 338 Тираж 100.  
620100 Екатеринбург, Сибирский тракт, 37  
Уральский государственный лесотехнический университет  
Отдел оперативной печати.