На правах рукописи

Моисеев Павел Александрович

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ВЕРХНЕМ ПРЕДЕЛЕ ЕЕ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА УРАЛЕ

4844316

03.02.08 – экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора биологических наук

21 АПР 2011

Екатеринбург – 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте экологии растений и животных Уральского отделения РАН

Научный консультант — доктор биологических наук, профессор **Шиятов Степан Григорьевич**

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор **Кулагин Алексей Юрьевич**

доктор биологических наук **Воронин Виктор Иванович**

доктор биологических наук **Семериков Владимир Леонидович**

Ведущая организация — **Учреждение Российской академии наук Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН**

Защита состоится 26 апреля 2011 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 004.005.01 в Институте экологии растений и животных УрО РАН по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, 202.
Факс: 8 (343) 260-82-56.

E-mail: dissovet@ipae.uran.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института экологии растений и животных УрО РАН.

Автореферат разослан "24" марта 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук Золотарева Н.В. Золотарева

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В последнее время значительно увеличился интерес мировой общественности к изучению реакции экосистем и их отдельных компонентов на изменения климата в связи с необходимостью оценки последствий происходящего потепления во многих районах нашей планеты и разработки глобальной модели возможных изменений биосферы при продолжении этих процессов. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2007) осредненная поверхностная температура всей планеты повысились на 0,74 °С за период с 1906 по 2005 годы. Рабочая Группа II МГЭИК утверждает, что удвоение концентрации CO^2 вероятно приведет к увеличению усредненной глобальной температуры на 1–3,5 °С, при этом наиболее серьезные изменения произойдут, как и отмечалось ранее, в полярных и высокогорных районах мира. Экосистемы и сообщества высокогорий очень чувствительны к изменению климата главным образом потому что произрастают в экстремальных климатических и почвенно-грунтовых условиях, а термические градиенты и определяемые ими границы растительных поясов находятся здесь на очень коротком расстоянии друг от друга. Поэтому повышение температуры на 3 °С может привести к подъему на сотни метров климатических границ, что превысит среднюю ширину отдельных поясов растительности и определит значительные изменения в биоте, которые могут привести к исчезновение многих высокогорных видов, особенно в экосистемах, приуроченных к вершинам невысоких гор. Исходя из этого, изучение процессов, происходящих на верхней границе древесной растительности (ВГДР), считающейся важнейшим ботанико-географическим и индикаторным рубежом в горах (Станюкович 1955, 1960, 1973; Горчаковский, 1966, 1975), является одной из важнейших задач при исследовании реакций наземных экосистем на климатические изменения.

Многие исследователи, изучавшие древесную растительность на верхним пределе ее произрастания в различных регионах мира: в Канаде (Kearney, 1982; Payette, Gargon, 1979; Payette, Filion, 1985; Lavoie, Payette, 1992), в США (Denton, Karlen, 1977; Jakubos, Romme, 1993; Taylor, 1995; Weisberg, Baker, 1995; Hessl, Baker, 1997; Woodward et al., 1995; Lloyd, 1997), в Швеции (Kullman, Engelmark, 1997; Kullman 1979, 1981, 1986, 1990, 2007; Kullman, Öberg 2009), в Новой Зеландии (Wardle, Coleman, 1992), в России (Gorchakovsky, Shiyatov, 1978; Шиятов 1983, 1993, 2005, 2009; Моисеев, 2002; Харук и др., 2008; Kharuk et al., 2010) – отмечают интенсивное лесовозобновление и смещение вверх границ древостоев различной сомкнутости на 30–60 м высоты в течение последних 60–80 лет. Результаты таких исследований обобщены в работах F. Holtmeier (2003) и M. Harsch et al. (2009). Согласно одному из мнений, данные процессы зависят от изменений средней температуры и сумм осадков в летний период, так как они определяют интенсивность физиологических процессов в растениях в наиболее важный период их жизненного цикла (Kearney 1982; Jacubos, Romme, 1993; Taylor 1995; Woodward et al., 1995, Körner 1998, 2003; Шиятов 1983). Другие исследователи (Lavoie, Payette, 1992; Weisberg, Baker, 1995; Kullman, Engelmark, 1997) отмечают, что форма роста древесных растений и выживание на их верхнем и полярном пределах также зависит во многом от условий в зимний период, в частности, от мощности снежного покрова, температуры воздуха и скорости ветра, которые определяют термический режим почв и степень повреждения снежной абразией частей растений, находящихся выше уровня снега. Совсем недавно, М. Харш с соавторами (Harsch et al. 2009), проведя анализ 166 публика-

ций по динамике древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания в различных регионах мира, сделали заключение, что наиболее существенные изменения наблюдались там, где в последнем столетии отмечалось более значительное увеличение зимних, чем летних температур. Л. Куллман и Л. Оберг (Kullman, Öberg 2009), повторно обследовав описанные в начале XX в. древостои, отметили, что верхняя граница редин выходит на самые высокие позиции в более многоснежных районах Скандинавии и с 1915 года она в наибольшей степени поднялась в горы на защищенных от ветра, вогнутых и поэтому более заснеженных участках склонов. Поэтому, несмотря на значительный объем накопленных знаний, остаются пока не вполне ясными причины, определяющие столь интенсивное возобновление и смещение вверх границ древостоев различной сомкнутости в последние столетья.

Уральские горы являются одним из ряда наиболее подходящих районов в мире для изучения структуры и динамики древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания. Это связано с тем, что: 1) Протянувшись почти на 2000 км, они пересекают все ботанико-географические зоны, встречающиеся в умеренном поясе (от зоны степей до зоны тундр) и находятся в неодинаковых климатических условиях, что даёт возможность выявлять широтные закономерности. При этом неоднородность климатической обстановки, состав горных пород, свойства почв и рельефа сказываются на характере растительности и географическом распространении отдельных ее типов; 2) На всем протяжении высокогорий Урала произрастают одни и те же виды древесных растений (лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), береза извилистая (*Betula tortuosa* Ledeb.)), что намного облегчает проведение сравнительного анализа; 3) В отличие от многих районов мира, высокогорная растительность Урала, не испытывала масштабных антропогенных воздействий и развивалась в основном под влиянием естественных факторов; 4) Исследователями природы высокогорий Урала, начиная с XVII в. (см. обзор Горчаковский 1975), накоплен значительный материал по условиям местообитаний (Долгушин 1939, 1951; Иванова 1947; Горчаковский 1959, Горчаковский, Шиятов, 1971, 1973; Шиятов, 1969, 1986), возобновлению (Шиятов, 1966) структуре и высотной позиции (Игошина 1931, 1960, 1964; Горчаковский 1954, 1957, 1966, 1975; Горчаковский, Шиятов, 1970, 1965, 1985), динамике (Сукачев, 1922; Городков, 1926; 1929; 1935; Сочава, 1927, 1930, 1933; Говорухин, 1929; 1947; Корчагин 1940; Тихомиров, 1941; Куваев, 1952; Горчаковский 1975; Шиятов 1964; 1965; 1967; 1983; Шиятов, Мазепа 2007), древесной растительности, произрастающей на верхнем пределе ее распространения (пробные площади, описания и карты растительности, наземные, аэро- и космические фотоснимки, дендрохронологические данные), что позволяет широко использовать прямые методы наблюдений и поэтому не только качественно, но и количественно оценивать происходившие изменения.

Цели и задачи работы. Целью работы являлось изучение на количественном уровне структуры и динамики древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания в различных природных провинциях Урала, в связи с изменениями в последние столетия климата и комплекса локальных экологических условий.

Исходя из этого, были поставлены следующие задачи:

➢ Произвести сравнительный анализ состава, морфологической и возрастной структуры современных древостоев, произрастающих на верхнем пределе своего рас-

пространения в различных природных провинциях Урала;

➢ Изучить начальные этапы возобновления доминирующих хвойных видов в экотоне верхней границы древесной растительности (ЭВГДР);

➢ Исследовать комплекс современных микроклиматических и почвенно-грунтовых условий в летний и зимний периоды и их влияние на семеношение, возобновление, структуру и пространственное распределение древесной растительности;

➢ Проанализировать изменения климата в последние столетия и оценить их влияние на условия местообитаний и пространственно-временную динамику древесной растительности в различных высокогорных провинциях Урала.

Защищаемые положения:

1. В Уральских горах на верхнем пределе произрастания древесной растительности происходят существенные изменения в составе доминантов древостоев (с ели и березы на Южном Урале к березе, ели, лиственнице и кедру на Северном Урале и лиственнице и березе на Приполярном и Полярном Урале), что связанно с значительным сокращением с юга на север вегетационного периода (на 2–3 недели) и увеличением континентальности климата (понижением зимних температур на 5–8 °С).

2. Средняя высота расположения современной верхней границы редколесий снижается от Южного до Приполярного Урала (54,25–65,25° с.ш.) на 65 м высоты на каждый градус широты, причем на склонах западных хребтов она на 115–120 м ниже, чем на восточных, по причине более сильного влияния на их мезоклимат влажных Атлантических воздушных масс. На Полярном Урале (65,5–67,5° с.ш.), где древесная растительность произрастает лишь на восточном макросклоне, снижение составляет 175 м на каждый градус широты, что объясняется усиливающимся влиянием на местный климат холодного арктического воздуха, приносимого с Северного Ледовитого океана.

3. Между верхними границами сомкнутых лесов и редин, расстояние (по вертикали) между которыми на средних по крутизне, каменистости, увлажнению и снежности участках склонов во всех природных провинциях Урала в среднем составляет 80–100 м, происходит существенное снижение у древесных растений темпов роста, репродуктивных способностей и степени готовности к выживанию в зимний период, что приводит к быстрому уменьшению сомкнутости и морфометрических параметров древостоев и количества жизнеспособного подроста. Это связано повсеместно со значительными изменениями микроклиматических и почвенно-грунтовых условий в этом высотном интервале, а именно: увеличением скорости ветра и снижением мощности снежного покрова в 3–4 раза; понижением температур воздуха на 0,2–0,9 °С и почв на 3–5 °С зимой и на 1,5–3°С в начале лета; уменьшением количества доступных элементов минерального питания (N и P); сокращением вегетационного периода на 3–10 дней.

4. С Южного до Приполярного Урала на средних по крутизне, каменистости, увлажнению и снежности участках склонов с конца XIX по начало XXI в. верхняя граница сомкнутых лесов, редколесий и редин сместилась вверх на 90–110 м, а на Полярном Урале – на 40–50 м высоты, что было сопряжено повсеместно с удлинением вегетационного периода (на 4–7 дней), повышением ранних летних (на 0,6–1 °С) и в целом зимних (1,5–2,5 °С) температур, а также увеличением количества твердых осадков.

Научная новизна и теоретическая значимость. Впервые по единой методике в различных природных провинциях Урала в пределах ЭВГДР проведены комплексные

исследования семеношения и начальных этапов возобновления хвойных видов, а также состава и структуры древостоев, в связи с изменениями микроклимата и почвенно-грунтовых условий, как в теплый, так и холодный периоды года.

На основе анализа возрастной структуры древостоев, повторного картирования и описания верхней границы редколесий, сравнения разновременных ландшафтных фотоснимков и тематических карт впервые для Южного, Северного и Приполярного Урала произведена количественная реконструкция пространственно-временной динамики древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания.

Обоснованность и достоверность результатов исследования. Работа выполнена в лаборатории дендрохронологии ИЭРиЖ УрО РАН, известной своими давними традициями исследований древесной растительности в экстремальных условиях среды, заложенными академиком П.Л. Горчаковским и продолженными с 1960-х годов ее научным руководителем д.б.н. С.Г. Шиятовым.

Выводы основаны на большом материале, включающем в себя сведения о составе и структуре древесной растительности на 110 км^2 площади ключевых вершин Урала; морфометрии более чем 20000 деревьев, у 10650 из которых определен возраст; размерах и массе 7400 шишек; динамике появления и выживания всходов на 1500 площадках 1 на 1 м и 680 площадках 0,5 на 0,5 м; изменениях в структуре древостоев, основанных на повторном описании 172 км верхней границы редколесий и анализе 240 пар повторных фотографий; особенностях снегонакопления на 390 площадках (20 на 20 м); данных по температуре воздуха и почвы с 229 датчиков.

Практическая значимость. В ходе сбора материалов для написания данной диссертации была отработана методика закладки и создана сеть мониторинговых площадей для слежения за пространственно-временной динамикой древесной растительности на ключевых горных массивах Южного, Северного и Приполярного Урала на площади около 20 га. Выявленные закономерности в динамике древесной растительности в высокогорьях Урала в ответ на изменения климата и условий местообитаний могут послужить основой при построении моделей, имитирующих климатогенную трансформацию растительного покрова в высокогорных районах мира.

Личный вклад автора. Представленная диссертационная работа является обобщением результатов многолетних (с 1990 г.) исследований автора. Все выносимые на защиту результаты и положения получены либо соискателем, либо при его непосредственном участии. Автором определены задачи, подготовлена программа исследований, выполнена работа по выбору и обоснованию методов. Сбор полевого материала проведен совместно с сотрудниками ИЭРиЖ и Ботанического Сада УрО РАН и преподавателями, аспирантами и студентами Уральского государственного лесотехнического университета. Получение возрастных характеристик древостоев, вычисление статистических показателей, разработка уравнений, анализ, интерпретация полученных результатов, формулировка выводов сделаны лично автором.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований были представлены и обсуждались на всероссийских научных конференциях «Экология: от генов до экосистем» (Екатеринбург, 2005), «Экология в меняющемся мире» (Екатеринбург, 2006), «Биосфера Земли: прошлое, настоящее, будущее» (Екатеринбург, 2008 г.), «Динамика современных экосистем в Голоцене» (Екатеринбург, 2010) и международных

конференциях «Влияние изменений климата на бореальные и умеренные леса» (Екатеринбург, 2006), «Global Change and the World's Mountains» (Perth, Scotland, 2010).

Методические наработки и накопленный опыт в ходе подготовки диссертации были использованы в 2010 году при написании «Программы мониторинга экотона верхней границы древесной растительности в особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона», которая также может быть взята за основу при создании методологической базы при организации системы долгосрочного слежения за влиянием ожидаемого изменения климата на структуру и динамику основных компонентов горных экосистем в других ООПТ России и мира.

Публикации. Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 20 печатных работах, в т.ч. в журналах, рекомендуемых ВАК – 10.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы и приложения. Текст работы изложен на 598 страницах, иллюстрирован 133 таблицами и 244 рисунками. Список использованной литературы содержит 472 источника, из которых 226 работ на иностранных языках.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УРАЛА

На основе анализа литературных источников дана характеристика природных условий Урала в целом, включающая описание геологии и орографии, климата, почв, зональности и поясности растительности.

Особое внимание уделено анализу инструментальных метеорологических наблюдений, который показал, что с 1830-х гг. до настоящего времени на Урале и прилегающих территориях произошли значительные изменения климата, связанные в основном с повышением температур в холодной период года (на 1,8–2,5, а в отдельных местах и на 3–4 °С) (рис 1.). При этом, количество твердых осадков увеличивалось до начала XX в., потом наблюдалось их снижение в 1930–40 гг., а к концу XX в. оно вновь увеличилось. В теплый период года температура поднялась на 0,2–1 °С и в основном за счет изменений в мае-июне, а количество осадков постепенно увеличилось на 15–25%. На Урале продолжительность периода с температурами выше 0 и 5 °С увеличилась на 3–7 дней, как за счет более раннего его начала на 3–4 дня, так и более позднего его окончания на 3–4 дня. Это способствовало удлинению вегетационного периода, но мало отразилось на его теплообеспеченности в целом.

ГЛАВА 2. РАЙОНЫ, МЕТОДИКА И ОБЪЕМ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными критериями при подборе районов (*ключевых горных массивов и хребтов)* и объектов *(горных склонов)* для наших интенсивных исследований являлось следующее: 1) местный климат, химический состав горных пород и растительность не должны сильно отличаться от преобладающих на данной территории; 2) древесная растительность не подвергалась сильному воздействию рекреационных нагрузок, пожаров, выпаса скота и диких копытных животных; 3) на горном массиве должны быть участки склонов, как средние по крутизне (10–30°), каменистости (10–30%), увлажнению, ветрообдуваемости, снежности и облесенности, так переходные и крайние по степени выраженности этих параметров. В итоге было выбрано 5 районов, которые были распределены с юга на север так, чтобы детально изучить особенности структуры и динамики древесной растительности во всех природных провинциях Урала:

1) массив Иремель (54° 30-34′ с.ш. и 58° 49-54′ в.д.) – Южный Урал;

2) хребет Большой Таганай (55° 22′ с.ш. и 59° 54′ в.д.) – Южный Урал;

3) Тылайско-Конжаковско-Серебрянский массив (59°30–40′ с.ш., 59°00–20′ в.д.) – Северный Урал;

4) окрестности г. Нёройка (64°30-33′ с.ш.; 59°33-44′ в.д.) – Приполярный Урал;

5) массив Рай-Из (66°45-55′ с.ш.; 65° 27-47′ в.д.) – Полярной Урал.

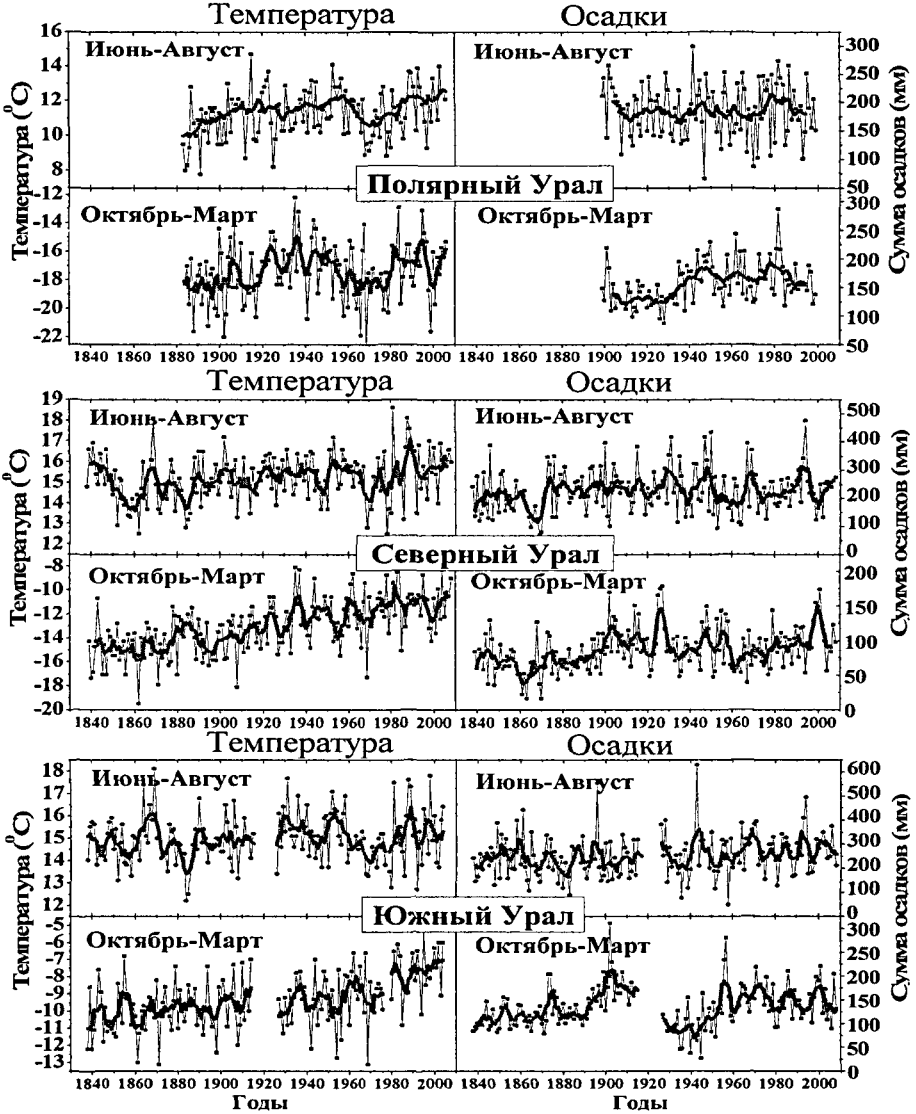

Рисунок 1 – Изменения температуры воздуха и сумм осадков в теплые и холодные периоды года в последние столетия в различных природных провинциях Урала

Изучение древостоев, возобновления ели и лиственницы и условий местообитаний в каждом районе исследований производилось на высотных профилях в пределах экотона верхней границы древесной растительности (ЭВГДР), под которым понимается переходный пояс растительности в горах между верхними границами распространения сомкнутых лесов и отдельных деревьев в тундре. Он включает несколько категорий верхних пределов (рис. 2 по Горчаковскому, Шиятову, 1985):

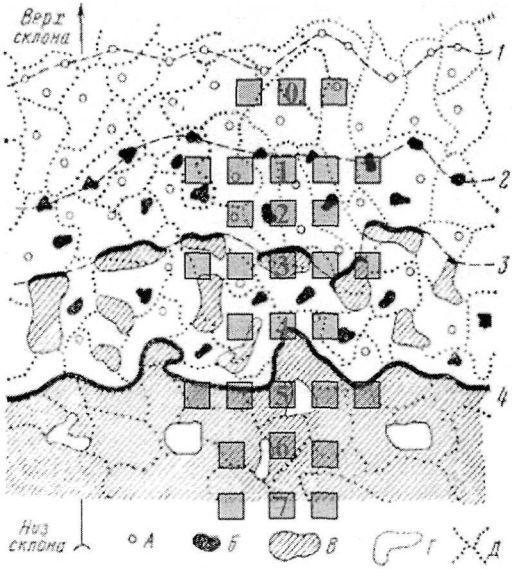

Рисунок 2 – Общая схема ЭВГДР со схемой размещения макроплощадок на высотных уровнях

Верхние границы: 1– отдельных деревьев; 2– редин; 3– редколесий; 4– сомкнутых лесов; А– отдельные деревья; Б– группы деревьев; В– лесные островки и массивы; Г– нелесные фитоценозы; Д– границы между фитоценозами.

1. Верхняя граница (ВГ) отдельных деревьев – представляет собой линию, соединяющую кратчайшим путем самые верхние пункты произрастания отдельных древесных растений (различных форм роста) среди горных тундр или лугов.

2. Верхняя граница редин – линия, соединяющая кратчайшим путем самые верхние местонахождения отдельных деревьев или их небольших групп, а также появившиеся под их кронами подрост и виды, характерные для нижних ярусов лесных фитоценозов (сомкнутость крон деревьев 0,05–0,1 и расстояние между ними от 20–30 до 50–60 м).

3. Верхняя граница редколесий – линия контакта между самыми верхними лесными фитоценозами и примыкающими к ним нелесными (сомкнутость крон деревьев 0,2–0,3 и расстояние между ними от 7–10 до 20–30 м).

4. Верхняя граница сомкнутых лесов – ниже границы редколесий лесные фитоценозы обычно смыкаются, образуя более или менее сплошные массивы (сомкнутость крон деревьев 0,4–0,5 и расстояние между ними < 7–10 м).

Изучение различных компонентов лесотундровых и лесных экосистем производилась в основном на 3 высотных уровнях (ур.) высотных профилей: нижнем – у ВГ сомкнутых лесов (5 ур.), среднем – у ВГ редколесий (3 ур.), верхнем – у ВГ редин (1 ур.). В некоторых случаях изучение производилось на промежуточных уровнях (2,4,6), а также в верхней части горно-лесного (7 ур.) и нижней части горно-тундрового (0 ур.) пояса. На каждом высотном уровне закладывали 3–6 макроплощадок размером 20 х 20 м на типичных для этого уровня участках, а также по 3 на участках (при их наличии), где сомкнутость крон деревьев была в 1,5–2,5 раза выше или ниже, чем на типичных.

Все макроплощадки делились на четыре мезоплощадки размером 10 х 10 м. На двух из них по определенной системе размечалось по 8 микроплощадок размером 1 х 1 м для учета всходов. На каждой макроплощадке для каждого отдельного дерева (одноствольной и многоствольной форм роста) определяли: вид, местоположение, высота и диаметр (у основания и на высоте груди) ствола, диаметр проекции кроны по 2 направлениям и ее протяженность. На каждой микро-площадке с помощью сетки Раменского размером 1 х 1 м, разделенной на 25 клеток размером 20 х 20 см, производился поиск проростков и всходов древесных растений. Для каждого найденного экземпляра определяли вид, жизненность, приуроченность к тому или иному типу напочвенного субстрата и нанорельефа (Санников и др., 2003), а также возраст по годичным рубцам на стволиках. Кроме того, на каждой микроплощадке определялся видовой состав, проективное покрытие и высота растений нижних ярусов фитоценоза и проективное покрытие разных типов напочвенного субстрата. Учет подроста на одних и тех же микроплощадках производился в начале июня и конце августа в течение 4–6 лет.

Таблица 1. Общая характеристика высотных профилей в различных природных провинциях (ПП) Урала

ПП Урала	Южный					Северный					Приполярный			Полярный	
№ профиля	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	I	II
Выс. интервал, м. н.у.м.	1205-1390	1295-1440	1260-1395	1310-1345	950-1095	880-1015	890-1060	930-1040	925-1050	900-1010	610-710	550-680	590-690	190-310	220-270
Длина профиля, м	2500	1400	900	500	800	450	550	500	350	500	800	850	1100	1850	600
Угол наклона склона, °	10-15	15-25	15-35	7-20	10-20	15-25	15-30	15-30	20-30	15-25	5-30	10-30	5-15	5-20	5-15
Экспозиция склона	ЮЗ	С	Ю	ЮВ	СЗ	С	ЮВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ	СВ	ЮВ	СВ	ЮВ	СВ
Кол-во макроплощадок	45	157	18	13	10	17	53	9	21	12	72	34	58	15	9
Общая площадь, га	1,80	6,28	0,72	0,52	0,35	0,68	2,12	0,36	0,84	0,48	2,88	1,32	2,32	0,6	0,36

Урожайность шишек и семя у ели и лиственницы определялась для каждого высотного уровня основных профилей в урожайный год. Сбор шишек (30–50 шт.) производился с 8–10 деревьев, типичных для данного местообитания. В лабораторных условиях из шишек после высушивания извлекались семена. Затем определяли длину, ширину и массу каждой шишки, количество и массу содержащихся в ней семян. Всхожесть семян определялась в соответствии с ГОСТом 13056.6-68.

Экспериментальный посев семян осуществлялся в пределах трех высотных уровней (верхнем, среднем, нижнем) основных профилей на Южном, Северном и Полярном Урале. Для каждого типа субстрата (травяной, хвойный, моховой, минерализованный и лишайниковый) закладывалось по 10 площадок размером 0,5 х 0,5 м. На каждую площадку высевалось по 100 шт. семян.

Для определения календарного времени появления живых деревьев (одноствольной формы роста) или стволов (многоствольной формы роста) диаметром > 3–4 см брали буровое образцы древесины на высоте до 40 см, а у усохших – выпиливался диск. У каждого второго древесного растения высотой > 0,2 м, но диаметром у основания ство-

ла < 3–4 см, на уровне корневой шейки брался поперечный диск. В лабораторных условиях каждый поперечный диск и буровой образец (предварительно закрепленный в деревянном держателе) был зачищен режущим инструментом, а затем на зачищенную поверхность втирался зубной порошок для увеличения контрастности годичных колец.

Большинство образцов древесины были сдатированы стандартными дендрохронологическими методами визуально, так как ширина колец и их изменчивость были достаточными для сравнения с данными обобщенных хронологий, построенных С.Г. Шиятовым (1986). Для некоторых образцов годичные приросты измеряли на установке LINTAB-III, а при помощи программного обеспечения TSAP–3.0 окончательно датировали год формирования самого ближнего к центру годичного кольца. Если взятые керны не достигали центра ствола, то для уточнения года формирования центрального кольца, производили расчет недостающих колец при помощи прозрачной пленки с нанесенными линиями окружностей разного размера. Поскольку возраст подроста выше 0,2 см и диаметром <3–4 см был определен по спилам, взятым на уровне корневой шейки, то он был достоверным в наибольшей степени. Используя возраст таких деревьев и высоту их стволиков, было рассчитано уравнение регрессии зависимости между этими показателями. На основе этого уравнения вычислялись поправки для определения более точного возраста каждого изученного нами дерева диаметром >3–4 см.

Известно, что почти все древесные виды умеренного пояса обильно плодоносят через определенные интервалы времени (ель и лиственница через 3–6 лет), а формирование возрастных поколений происходит лишь после урожайных лет (Карпов и др., 1983), причем особи, появившиеся в интервале между ними, практически не участвуют в сложении древостоев, так как из-за малого их количества погибают полностью, не достигнув генеративного возраста (Кошкина и др., 2008). Точность вычисленного нами возраста деревьев ±1–3 года из-за ошибок при его определении у стволов с эксцентричной формой роста и различий во времени достижения деревьями высоты отбора образцов. Поэтому, взяв за основу точные даты урожайных лет, реконструированные по литературным источникам (самый ранний для Южного и Северного Урала 1934 г), мы объединили по пятилетиям количество деревьев в 1-летних календарных группах, в интервале 2 года до и после следующих после них лет. Как было выявлено обильные урожаи, как правило, приурочены к одному году в 1-м и 2-м пятилетии каждого календарного десятилетия (например, урожайный для ели 1934 г. между 1931–1935 гг., 1937 г. – между 1936–1940 гг.), поэтому, объединяя значения по пятилетиям даже для периода до 1934 г., можно использовать их для характеристики численности деревьев, появившихся и выживших к нашему времени после какого-то урожайного года в этом пятилетии. У многоствольных деревьев большинство стволов начинает формироваться значительно позже времени их появления, в связи с чем бывает трудно определить их реальный возраст. Но для формирования лесных сообществ важно то, когда происходит разрастание основной части крон деревьев, которые играют главную средообразующую роль. Поэтому для сравнения с периодами формирования древостоев одноствольными деревьями, также производилось объединение количества стволов, появляющихся у многоствольных деревьев, в однолетних календарных группах по пятилетиям.

Для изучения температурного режима воздуха и почвы на различных высотных уровнях основных профилей (в верхней, средней и нижней частях ЭВГДР) на Южном

(в 2002–2003 гг.), Северном (в 2004–2005 гг.) и Полярном Урале (в 2003–2004 гг.) размещались по 3 автономных термодатчика (TBI32-20+50 StowAway Tidbit), производивших измерения каждый час. Первый термодатчик закапывался в почву (на глубину 10 см) на открытом участке, 2-ой под кроной дерева, 3-й прикреплялся к ветви дерева вблизи ствола (на высоте 2 м). На ЮЗ склоне г. М. Иремель в 2004–2005 гг. были размещены по 3 датчика (DS1921 Thermochron iButton™), как в кронах деревьев (на 2 м), так и в почве. В 2008-2009 гг. в 44 точках на Иремеле (1200–1435 м н.у.м.) размещались аналогичные датчики, производившие измерения температуры воздуха через 3 часа в кронах деревьев. В июне–сентябре 2010 г. в 18 точках на массиве Иремель при помощи автономных метеостанций производили измерения температуры и влажности воздуха, количества осадков, направления и скорости ветра, влажности и температуры почвы.

На Южном (2006 г.), Северном (2005 и 2007 гг.) и Полярном Урале (2006 г) для выявления связей между мощностью снежного покрова и температурой почвы в конце зимы (в первой декаде марта) на участках с различной глубиной снега (от 10 до 150 см с шагом 15–20 см) в почве на 3–5 см на 2–4 дня размещались термодатчики (TBI32-20+50 Tidbit), производившие измерения каждый час. Для уточнения этих связей с октября по июнь 2008–2009 гг. были размещены термодатчики (в 10–36 точках в верхней, средней и нижней частях ЭВГДР (70 шт. в целом)) в почве на глубине 10–12 см на юго-западном склоне г. Малый Иремель, а в марте 2009 г производилось по 10 измерений глубины снега в радиусе 0,5 м от места их закладки.

Измерения мощности снежного покрова проводили на Южном (в 2004, 2006, 2008–2010 гг.), Северном (в 2005 и 2007 гг.), Приполярном (в 2010 г) и Полярном Урале (в 2006 г) в марте-апреле на площадках 20 х 20 м на заложенных профилях и дополнительных участках. Если фоновая глубина снега была <170 см, то по каждой центральной линии (вертикальной и горизонтальной), разделяющих площадки 10 х 10 м, проводили по 30–50 измерений, используя размеченный металлический шест. Если фоновая глубина снега была >170 см, то, проводили покраску стволов деревьев на уровне снега, а летом при помощи градуированной рейки измеряли высоту расположения сделанных зимой меток.

На основе предварительно ортотрансформированных (совмещенных с цифровой моделью рельефа (ЦМР)) аэрофотоснимков (М:1:40000 и 1:50000), сделанных в 1981 и 2000 гг. на Тылайско-Конжаковско-Серебрянском массиве и 1988 г. на массиве Иремель, при помощи программы ERDAS Imagine (Leica Geo-systems, США) было произведено контурное визуальное дешифрирование по яркости изображения древостоев различной сомкнутости и состава (Капралов и др., 2006, 2007). ЦМР этих районов были созданы на основе топокарт (М:1:100000 и 1:200000) в географической информационной системе ARC/INFO (ESRI, США) (ГИС). Для создания тематических карт в полевых условиях на топокарте района, с использованием дешифрированных аэрофотоснимков, отмечались граница выделов древостоев различной сомкнутости и состава, и производилось определение в их пределах степени каменистости (в %); увлажнения почв в баллах (от 1 (сухие) до 5 (постоянно переувлажненные)); экспозиции и уклона склона; сомкнутости (в %), состава и высоты древостоя; состава подроста; общего покрытия поверхности кустарниковым и травянисто-кустарничковым покровом. Основным критерием для выделения служило изменение более чем на единицу состава или

сомкнутости древостоя. На основе собранной информации была создана база данных, характеризующая растительность и условия местообитаний на выделах, и произведена ее «привязка» к созданной цифровой карте в ГИС, тем самым, насыщая последнюю атрибутивной информацией.

В 2005 г. на Тылайско-Конжаковско-Серебрянском массиве были проведены полевые работы в целях оценки изменений, произошедших в составе, структуре и высотном положении верхней границы редколесий за последние 50 лет. При этом использовалась отцифрованная топографическая карта М 1:25000, на которую предварительно была нанесена информация, полученная в 1956 г. С.Г. Шиятовым (высотное положение верхней границы редколесий, границы выделов, состав древостоев, высоты точек барометрических замеров). Местонахождение этих выделов и точек на местности определялись при помощи топографической карты, барометрического высотомера и приемника GPS. При повторном описании древостоев выяснилось, что за последние 50 лет произошло смещение ВГ редколесий выше в горы. В связи с этим были проведено картирование и описание современной границы по методике 1956 г., чтобы можно было сравнить полученные результаты. По данным полевых исследований 1956 и 2005 гг. были созданы цифровые картосхемы, характеризующие высотное положение ВГ редколесий (Капралов и др., 2006). На основе предварительно созданной ЦМР района исследований были рассчитаны растры, содержащие информацию о крутизне склонов и их экспозиции. Для оценки произошедших изменений в составе, структуре и высотном положении ВГ редколесий полученные материалы были конвертированы в специальный растровый формат Grid по типу атрибутивной информации. Этот формат данных позволил провести адресный анализ по каждой ячейке растра и сопоставить результаты по различным параметрам. Анализ высотного положения ВГ редколесий выполнен методом экстрагирования в ГИС с использованием ЦМР. В качестве масковых покрытий были использованы растры, содержащие информацию о конфигурации выделов и доминирующих древесных видах. Оценку величины горизонтального смещения ВГ редколесий с 1956 по 2005 гг. осуществляли с использованием специально разработанного алгоритма (см. Шиятов и др., 2007; Фомин и др., 2007; Капралов и др., 2007).

Оценка динамики древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания также производилась при помощи метода сравнения изображений на разновременных ландшафтных фотоснимках, сделанных с одних и тех же точек (Шиятов, 1983; Moiseev, Shiyatov 2003). Точка съемки определялась путем разыскивания и совмещения наиболее хорошо заметных ориентиров на снимках и местности. В зависимости от расстояния до объекта исследований, оценивались различные параметры растительности (видовой состав и сомкнутость древостоя; высота, форма роста и жизненное состояние деревьев; наличие сухостоя и валежа), и делались повторные снимки. В лабораторных условиях, отсканированные изображения на старых и современных фотоснимках накладывались одно на другое в разных слоях в программе Adobe Photoshop, после чего посредством различных трансформаций совмещались основные очертания постоянных объектов (больших камней и скал и т.д). Изменяя прозрачность изображения на одном из слоев, проводилось глазомерное сопоставление изображений, оценка произошедших изменений различных параметров деревьев и древостоев при помощи методов лесной таксации и нанесение контуров прежней границы сомкнутых лесов (сплошной линией)

и редколесий (пунктирной) на современном фотоснимке. Далее эти линии переносились на топографическую основу, определялось их среднее высотное положение и оценивались величины смещения ВГ сомкнутых лесов и редколесий.

ГЛАВА 3. МАССИВ ИРЕМЕЛЬ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Массив Иремель (1582,3 м н.у.м.), расположен в полосе наиболее высоких центральных возвышенностей Южного Урала. Он представляет собой компактную горную группу, имеющую форму овала, вытянутого с СВ на ЮЗ на 20 км. На общем основании массива поднимаются две вершины – Большой и Малый Иремель, соединенные между собой 3-х километровой, пологой седловиной. Массив сложен кварцевыми песчаниками и подчиненными им углистыми сланцами. Каменистость участков возрастает вверх по склонам от 19% в горно-лесном, до 34–38% в подгольцовом и 54% в горно-тундровом поясе. В верхней части горно-лесного пояса сомкнутость крон деревьев ели и березы, которые доминируют как здесь, так и выше по склонам, составляет 72%, а средняя взвешенная по площади высота древостоев равна 8,5 м. В подгольцовом поясе (1225–1375 м н.у.м.) происходит уменьшение сомкнутости крон от 50 до 15 % и средней высоты древостоев от 6,9 до 2,7 м. Выше по склонам сомкнутость крон деревьев не превышает 3%, а высота 1,8 м. На каждом высотном уровне встречаются участки, где средняя сомкнутость и высота древостоев, или ниже, или выше средней в 1,5–2,5 раза.

На 4-х заложенных профилях на массиве Иремель средние значения морфометрических параметров деревьев ели, произрастающих в пределах основных площадок профилей, уменьшаются в 2–3 раза по мере увеличения высоты н.у.м. (табл.2) (Моисеев и др., 2004). Средний возраст ели в нижней части экотона равен 74–124 годам, а макс. достигает 250 лет. В верхней части ЭВГДР средний возраст елей колеблется в пределах 31–116 лет, но на некоторых сравнительно многоснежных участках встречаются отдельные экземпляры в возрасте более 360 лет (Моисеев и др., 2004). Морфометрические параметры берез также значительно снижаются с увеличением высоты н.у.м., а средний их возраст почти не изменяется (34–48 лет) в переделах ЭВГДР, хотя в прилегающих ниже сомкнутых лесах (<1250 м н.у.м.) он увеличивается в 1,5–2 раза. Средние морфометрические параметры и возраст елей, произрастающих на дополнительных площадках, заложенных на тех же высотах, что основные площадки, но на участках с меньшим проективным покрытием крон деревьев, в 1,5–3 раза ниже, а с большим – выше в 1,5–3 раза. На дополнительных участках с менее сомкнутыми древостоями доля березы достигает 50–80%, а с более сомкнутыми – не более 5%.

В пределах ЭВГДР на массиве Иремель в урожайный 2003 г. по мере увеличения высоты н.у.м. наблюдается резкое уменьшение, как количества плодоносящих елей (от 330–370 до 39–64 шт./га), так и общей урожайности шишек в древостоях (от 97,3–111,3 до 3,6 тыс.шт./га) (Кошкина и др., 2008). Особенно заметно уменьшение от средней к верхней части: в 5–7 раз по количеству деревьев и в 10–17 раз по урожайности шишек, тогда как от нижней к средней части они уменьшаются всего в 1,5–2 раза. Средние показатели длины шишек ели в разных частях ЭВГДР изменяются в пределах от 37 от 53 мм. При увеличении высоты н.у.м. происходит уменьшение как размеров, так и массы шишек: от нижней к средней части экотона – на 13%, а от средней к верхней – на 21%. С уменьшением размера шишек снижается количество семян в них. Так, в нижней части ЭВГДР в шишках насчитывалось в среднем 136 полнозернистых семян, в средней -

116, а в верхней – всего 14. Расчеты показали, что в урожайный 2003 г. на каждый гектар потенциально могло выпасть в нижней части 13,2–15,15, в средней – 7,0–7,3, а в верхней – 0,05–0,09 млн. семян. Также в верхней части лабораторная всхожесть семян оказались самой низкой - 14%, а в средней и нижней частях она была 27 и 34% соответственно. На основе данных по семенной продуктивности и всхожести, было вычислено, что в верхней части ЭВГДР потенциально может появиться лишь 7,0–12,6 тыс. проростков на га. В остальных частях экотона их количество может быть от 1,89–2,35 (в средней) до 4,5–5,15 млн. шт./га (в нижней части).

Таблица 2 – Сомкнутость елово-березовых древостоев, морфометрические параметры и возраст елей на различных высотных уровнях профилей на массиве Иремель

Профиль	Высот. уровень	Высота н.у.м., м	Пр. покрытие крон			Диаметр ствола на 1,3 м		Высота ствола		Возраст	
			%	доля в %							
				ель	береза	среднее	макс.	среднее	макс.	среднее	макс.
I	0	1375	12,3	95	5	5,5±0,2	18	2,2±0,1	4	123±4	280
I	1	1360	7,0	36	64	3,1±0,6	11,8	1,7±0,2	4,1	38±4	72
I	2	1345	17,0	63	37	3,3±0,4	19,7	2,1±0,1	7	31±3	88
I	3	1310	43,2	67	33	7,5±0,5	27,4	3,3±0,2	9,2	48±3	105
I	4	1280	46,7	55	45	9,4±0,7	32,5	4,4±0,2	9,5	52±5	112
I	4	1280	56,6	100	0	22,9±0,9	39	8,7±0,3	14	140±5	264
I	5	1255	52,5	89	11	10,4±0,6	36,6	5,3±0,2	13	74±3	124
I	6	1225	52,0	87	13	17,3±0,9	46	7,5±0,3	18,3	87±6	272
I	7	1205	69,3	82	18	17,4±0,6	47	9,5±0,3	18,4	96±2	144
II	0	1440	0,6	100	0	3,1±0,2	11	1,6±0,1	3,8	57±4	133
II	1	1365	8,4	98	2	4,9±0,3	17	1,9±0,2	5,6	71±4	169
II	3	1335	27,8	99	1	8,4±0,4	31	2,5±0,1	7,5	75±4	290
II	3	1325	12,5	38	62	2,3±0,2	10,8	0,9±0,1	5	23±1	64
II	3	1315	10,0	19	81	2,6±0,5	8,3	0,7±0,1	3	23±1	73
II	4	1300	6,4	88	13	Dbase=2,1	7,5	0,6±01	4,7	18±2	109
II	5	1295	45,3	100	0	12,6±0,4	32	5,2±0,2	13,3	80±3	211
III	0	1390	27,7	99	1	9,3±0,2	23	3,4±0,1	7,8	109±4	282
III	1	1355	12,3	74	26	3,9±0,5	15,3	2,0±0,2	5,6	36±3	116
III	3	1315	29,1	63	37	8,0±0,4	20	3,5±0,1	7,2	58±2	107
III	3	1315	13,7	50	50	3,2±0,2	15,3	1,4±0,3	5,3	27±1	68
III	5	1265	52,0	98	2	21,0±0,7	36	9,7±0,3	15,5	98±2	139
IV	1	1345	40,0	100	0	10,1±0,3	39	4,0±0,1	7,5	116±6	365
IV	3	1310	57,3	78	22	11,3±0,5	52	4,8±0,2	10	74±2	167
IV	3	1310	5,5	31	69	2,6±0,4	8,9	1,3±0,1	3,1	30±2	63
IV	5	1260	60,4	99	1	18,9±0,6	35	8,2±0,3	15	124±5	251
серым тоном выделены доп. площадки с меньшей или большей сомкнутостью крон											

Учет проростков после урожайного 2003 г. показал, что в августе 2004 г. наибольшее количество проростков было обнаружено в нижней части Профиля I – до 85,2 тыс. шт./га, при этом в нижней части Профиля II их насчитывалось всего 20,2 тыс. шт./га. В средней части этих профилей количество проростков составило 19,8–31,7 тыс. шт./га. В верхней части ЭВГДР проростков ели было обнаружено от 0 до 0,4 тыс. шт./га, но при проведении экспериментального посева оказалось, что они могут появ-

ляться и здесь, правда, в основном на минерализованном субстрате. Наблюдения за выживанием всходов 2004 года в последующие 6 лет в разных частях ЭВГДР показали, что через 1 год после появления их остается 3,7–19,7% от первоначальной численности; через 2 – 2,3–14%; через 3 – 1,8–10,8%; через 4 – 1,4–10,2%; через 5 и 6 – 0,9–8,9% (в среднем – 1-2%). Особо следует отметить, что в первые два года роста всходов темпы сокращения их количества в теплый по сравнению с холодным периодом года были в 3–4 раза меньше. После малоурожайных лет проростки ели были обнаружены лишь в средней и нижней частях ЭВГДР. На профиле I в 2005 г. проростков было 0,9–2,2% от количества, появившихся в 2004 г., а в 2006 г. – 1,0%. На Профиле II в 2005 г. проростки появились лишь в нижней части ЭВГДР, но их численность было сравнительно большой и составляло 18,4% от количества, появившихся в 2004 г. В 2007–2009 гг. новых проростков ели не было обнаружено на обоих профилях. Таким образом, хорошее возобновление ели на массиве Иремель наблюдается лишь после урожайных лет. Всходы, появляющиеся после малоурожайных лет, практически не участвуют в формировании верхнего яруса древостоев, так как большая их часть не доживает до взрослого состояния.

Анализ изменений средних летних температур воздуха в кронах деревьев при увеличение высоты над ур.м. на массиве Иремель обнаружил, что в преобладающей части точек наблюдения они уменьшаются на 0,75 °С на каждые 100 м высоты на склонах северной ориентации и на 0,93 °С – на склонах южной ориентации. В зимний период (ноябрь–февраль) температуры также снижаются при подъеме в гору, но лишь на 0,64 °С на каждые 100 м высоты, как на северных, так и южных склонах.

На массиве Иремель на пологих и платообразных склонах между ВГ сомкнутых лесов и редколесий фоновая мощность снежного покрова увеличивается от 60 до 90 см в малоснежные и от 90 до 125 см в многоснежные зимы. В то время как, при переходе между ВГ редколесий и редин происходит уменьшение мощности снежного покрова до 5–15 см в малоснежные и 20–30 см в многоснежные зимы, что объясняется уменьшением снегозадерживающего эффекта сокращающихся по площади крон деревьев (от 20–30 до 5%). Но, на сильно ветрообдуваемых перевалах и небольших возвышенностях в нижней и средней частях ЭВГДР мощность снежного покрова бывает крайне низкой и сравнимой с той, что характерна для верхней части платообразных склонов. В понижениях мезорельефа даже в верхней части ЭВГДР скапливается большое количество снега, сравнимое с тем, что характерно для нижней части платообразных склонов.

При увеличении мощности снежного покрова от 15 до 60 см температура почвы на массиве Иремель повышается в среднем на 4 °С на всех высотных уровнях ЭВГДР, а при дальнейшем ее увеличении (до 110 см) изменения температуры не столь значительны – всего 0,5–1,5 °С. Также было выявлено, что абсолютные значения температуры почвы при одной и той же мощности снежного покрова на разных высотах н.у.м. неодинаковы. Так, при глубине снега около 15 см в сомкнутых лесах и редколесьях она опускается до –5,5 °С, в интервале от верхней границы редколесий до границы редин – до –6…–7,5 °С, а в тундре – до –9,8 °С. При глубине снега около 60 см на ВГ сомкнутых лесов и редколесий она опускается до –0,5…–1,5 °С, на ВГ редин – до –3 °С, а в тундре – до –5,5 °С. Причиной таких различий является время установления постоянного и достаточного для защиты от проникновения холода из атмосферы снежного по-

крова. В разные годы такая величина может отличаться, так как первые холода имеют каждый год свою длительность и интенсивность. Если почва остается долгое время не покрытой снегом, то она быстро теряет накопленное летом тепло, и поэтому сильнее и глубже промерзает. На тех местах, где снег постоянно сдувается (повышения в рельефе) или на открытых безлесных участки (тундры и болота), такое явление имеет наиболее выраженный характер.

На массиве Иремель было отмечено, что в связи с более сильным охлаждением почв зимой в тундре и рединах по сравнению с редколесьями и сомкнутыми лесами их температуры в конце весны и начале лета ниже на 1,5–3 °С и поэтому ее прогревание до благоприятных для роста корней температур длится на 3–10 дней дольше. Так как вегетация заканчивается с переходом через 5–7 °С одновременно на всех уровнях в конце августа – начале сентября, то эти дополнительные дни роста в начале сезона очень важны для успешности вызревания (одревеснения) тканей и дальнейшей перезимовки частей деревьев, находящихся выше уровня снега.

Для выяснения того, как пространственные изменения характеристик древесной растительности сопряжены с изменениями условий местообитаний, нами было первоначально проведено разделение всех как основных, так и дополнительных серий макроплощадок 20 х 20 м, на группы по высоте их расположения н.у.м. с шагом в 25 м, внутри которых они были расположены в порядке возрастания сомкнутости древостоев. После этого полученные ряды были объединены в матрицу, в порядке увеличения высоты н.у.м. Заменой в полученной в матрице значения сомкнутости крон на средние значения возраста, диаметра и высоты елей на соответствующих сериях площадок была получена матрица изменения этих параметров (табл. 3).

Таблица 3 – Изменения сомкнутости древостоев (%) и высоты ели в пределах высотных уровней всех обследованных профилей на массиве Иремель

№ уровня	Часть экотона ВГДР	Высота над у. м., м	Проективное покрытие крон					Средняя высота стволов				
			Низкое		Средне-е	Высокое		Низкое		Средне-е	Высокое	
			крайне	умеренно		крайне	умеренно	крайне	умеренно		крайне	умеренно
0		1376-1400	0	0	0	0,6	11,7	0	0	0	1,6	2,2
1	Верхняя	1351-1375	0	2,5	8,2	10,2	27,5	0	1,7	1,9	2,0	3,4
2		1326-1350	1,9	4,8	10,7	27,5	40,0	0,7	0,9	2,1	2,5	4,0
3	Средняя	1301-1325	1,7	6,9	20,8	29,2	41,6	1,3	1,4	3,3	3,5	4,8
4		1276-1300			25,7	45,3	56,6			4,4	5,2	8,2
5	Нижняя	1251-1275			48,7	50,7	59,6			5,3	9,7	8,7
6		1224-1250			45,2			0	0	0	1,6	2,2

Далее были подставлены в соответствующие ячейки матрицы средние значения, изученных нами микроклиматических (температура воздуха теплого и холодного периодов года, мощность снежного покрова), и почвенно-гидрологических параметров (температура и влажность почвы) и проанализировано какие из них наиболее существенно меняются с изменением параметров древостоев (табл. 4).

Выяснилось, что в созданной нами матрице средняя температура воздуха, как в теплый, так и в холодный период года, изменяются незначительно (на доли градуса), как при увеличении сомкнутости, так и при изменении высоты н.у.м., и не имеют четких тенденций. При этом мощность снежного покрова выше 1325 м н.у.м. заметно воз-

растает (в 3–5 раз) при увеличении сомкнутости древостоев, как на одной высоте, так и на разных высотах. В нижней части экотона увеличивающаяся мощность снежного покрова, достигнув максимального значения при средней сомкнутости древостоев, начинает незначительно снижаться. Закономерно с изменениям высоты н.у.м. и мощности снежного покрова изменяется и температура почвы в конце зимы.

Таблица 4 – Средние месячные температуры (°С) при разной сомкнутости древостоев в пределах высотных уровней всех обследованных профилей на массиве Иремель

№ уровня	Часть ЭВГДР	Высота над у. м., м	Проективное покрытие крон деревьев									
			Низкое		Среднее	Высокое		Низкое		Среднее	Высокое	
			крайне	умеренно		крайне	умеренно	крайне	умеренно		крайне	умеренно
			Воздуха в июле					Почвы в марте				
0		1376-1400		12,8	12,6	11,9	13,4		-10,3	-8,8	-7,8	-2,6
1	Верхняя	1351-1375		12,6	12,4	12,8	13,1		-6,6	-4,8	-4,4	-0,9
2		1326-1350	12,9	12,9	13,1	12,4	12,6	-4,3	-4,0	-3,5	+0,3	-0,4
3	Средняя	1301-1325	13,2	13,2	12,7	12,8	12,6	-6,6	-2,7	-0,4	+0,5	-0,7
4		1276-1300			12,6	12,9	12,6			-0,4	-0,7	-0,7
5	Нижняя	1251-1275			12,7	12,6	12,6			-0,7	-0,7	-0,9
6		1224-1250			12,5					-0,8		

Сопоставление современной растительности с той, что зафиксирована на старых фотоснимках (начало и середина XX века) в более чем 100 различных точках на массиве Иремель (Moiseev, Shiyatov, 2003), показало, что в течение последнего столетия происходило энергичное возобновление древесных видов, а также их расселение на безлесные территориях (Рис. 3).

Сравнение описаний древесной растительности, картографических и фотографических материалов, полученных в ходе полевых работ 1973 (С.Г. Шиятов) и 2006 гг. (Д.С. Капралов) на массиве Иремель (Капралов и др., 2007), показали значительное смещение ВГ редколесий и редин вверх на 21 м по вертикали и 60 м по горизонтали. Верхняя граница сомкнутых лесов, как стало ясно из сравнительного анализа топографических карт 1960 и 1990 гг. (Моисеев и др., 2000; Фомин и др., 2007), продвинулась здесь вверх по склонам в среднем на 19 м по вертикали и 295 м по горизонтали. Как видно, на Южном Урале с 1960-х гг. ВГ древостоев различной сомкнутости смещались достаточно синхронно – в среднем по 7–8 м по вертикали и 90–100 м по горизонтали каждые 10 лет. На основе этих данных рассчитано, что за последние 80 лет (с 1930-х – когда были сделаны фотографии Л.Н. Тюлиной) средние сдвиги этих ВГ составили 60-70 м по вертикали и 700-800 м по горизонтали (Рис. 4), а с 1880-х годов – 100–110 м и 1200–1300 м соответственно. В целом эти расчеты близки к нашим оценкам, сделанным при сравнении изображений растительности на разновременных фотоснимках.

Как было показано выше, пространственные изменения средних значений морфометрических и возрастных параметров древостоев сопряжены в большой степени с изменениями мощности снежного покрова, поэтому при анализе истории формирования древостоев участки с различной мощностью снежного покрова были объединены в 5 групп от крайне малоснежных до сравнительно многоснежных.

На многоснежных местообитаниях во всех частях ЭВГДР возраст самых старых стволов деревьев ели нередко превышал 400 лет, правда, всего 5–10% растущих сейчас

на этих участках живых стволов появились в XVII–XVIII вв. (рис.5). Первая волна массового появления пришлась на 1820–1860 гг. и к концу XIX в. 20–40% ныне живущих стволов уже росли на этих участках, хотя 70–90% из них составляли многоствольные деревья. Наиболее интенсивное заселение происходил в 1940–1970 гг., когда в массовом количестве здесь стали появляться деревья, ныне имеющие одноствольную форму роста. Это привело к сокращению доли стволов многоствольных деревьев в составе до 20–30%. Среднее покрытие крон на этих участках, как в верхней, так и в средней части ЭВГДР, составляет 30–35%.

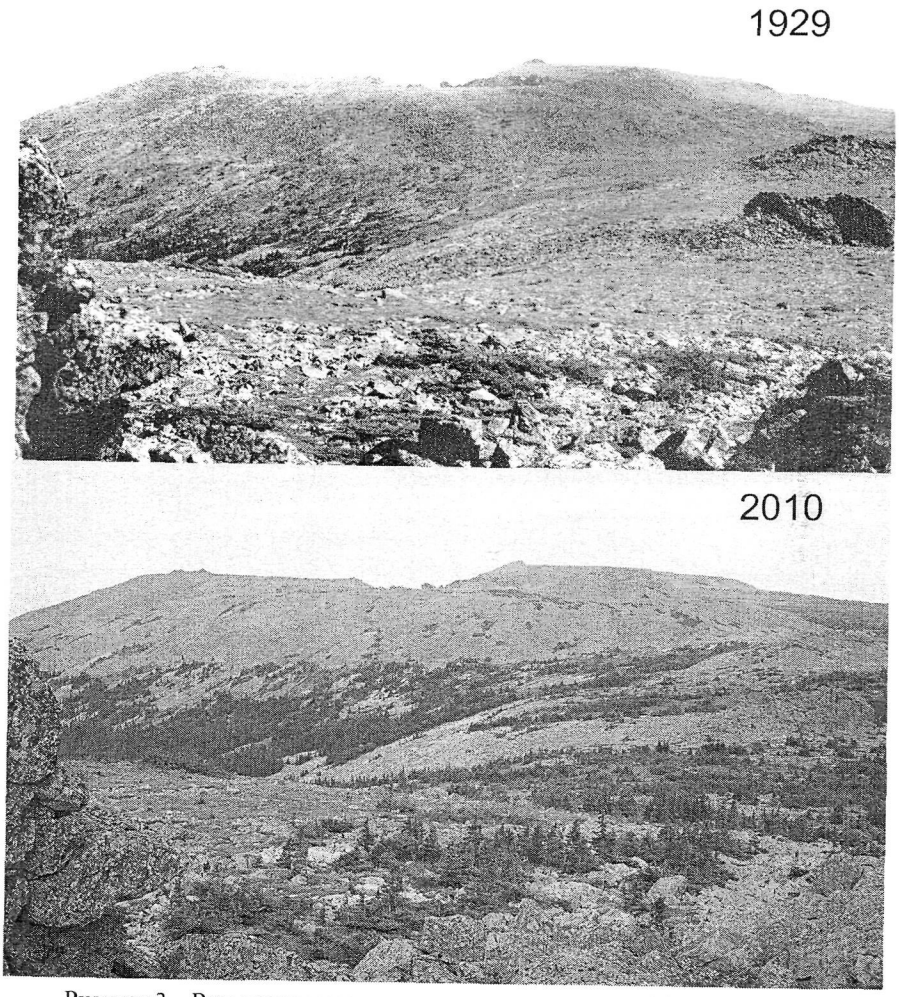

Рисунок 3 – Вид с западного отрога на главную вершину Малого Иремель

На умеренно многоснежных местообитаниях процессы формирования древостоев шли на различных высотных уровнях уже не так синхронно, как на многоснежных. В

нижней части ЭВГДР, хотя первые ныне растущие здесь деревья стали появляться уже в конце XVIII в., активное заселение началось лишь в последних трех декадах XIX в. Ниже высоты 1250 м н.у.м. возобновление практически прекратилось уже к 1960 г., тогда как выше (до 1275 м н.у.м.) в 1930–1960-х гг. наблюдалась новая фаза формирования древостоев. В средней части в конце XIX в. также был период активного формирования древостоев за счет появления новых индивидуумов, но позже увеличение густоты шло в основном в результате образования вертикально растущих стволов у многоствольных деревьев. Выше в переходной полосе к верхней границе редин многие деревья стали появляться еще в XVII–XIX вв., большинство из которых сейчас имеют многоствольную форму роста. Но массовое заселение происходило лишь после 1930 г., достигнув максимума в 1950-1960-х гг. На ВГ редин многие деревья стали появляться в XIX в.,иу большинства из которых в последние декады этого века образовалось много вертикально растущих стволов. Но формирование сомкнутых древостоев здесь так и не началось до настоящего времени, хотя в XX в. каждую декаду появлялись небольшое количество новых деревьев. Выше ВГ редин в подобных местообитаниях также произрастают одиночные куртины елей, самые старые из которых появились в конце XIX в., а другой период небольшого увеличения их количества был здесь в 1930–1960-х гг.

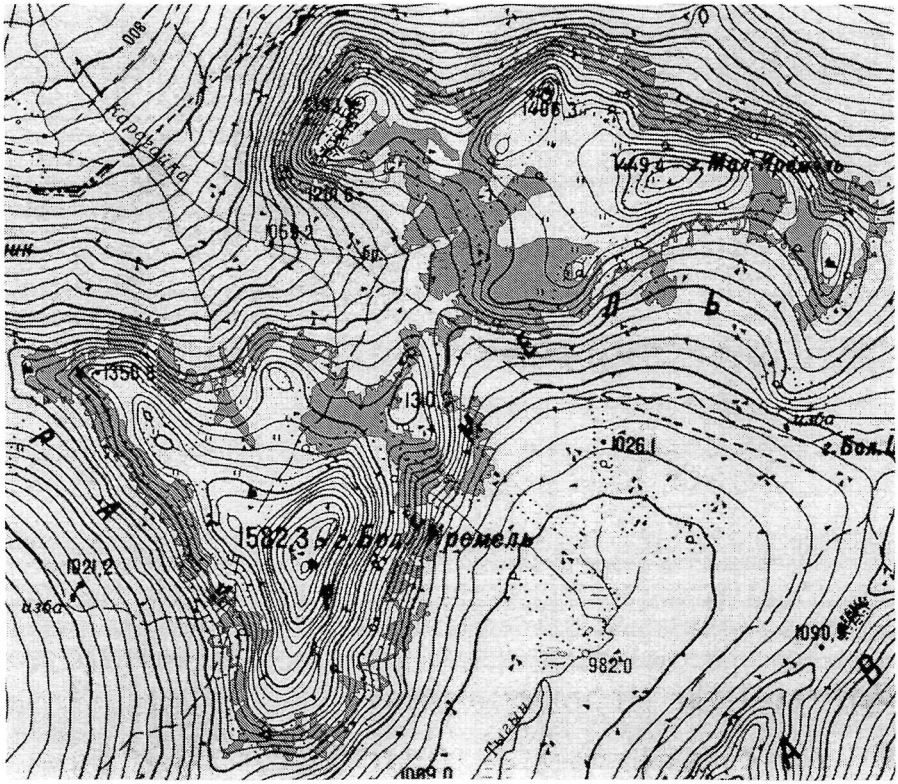

Рисунок 4 – Верхняя граница редколесий на массиве Иремель в 1930-х (нижний край) и начале 2000-х гг. (верхний край выделенной красным цветом зоны)

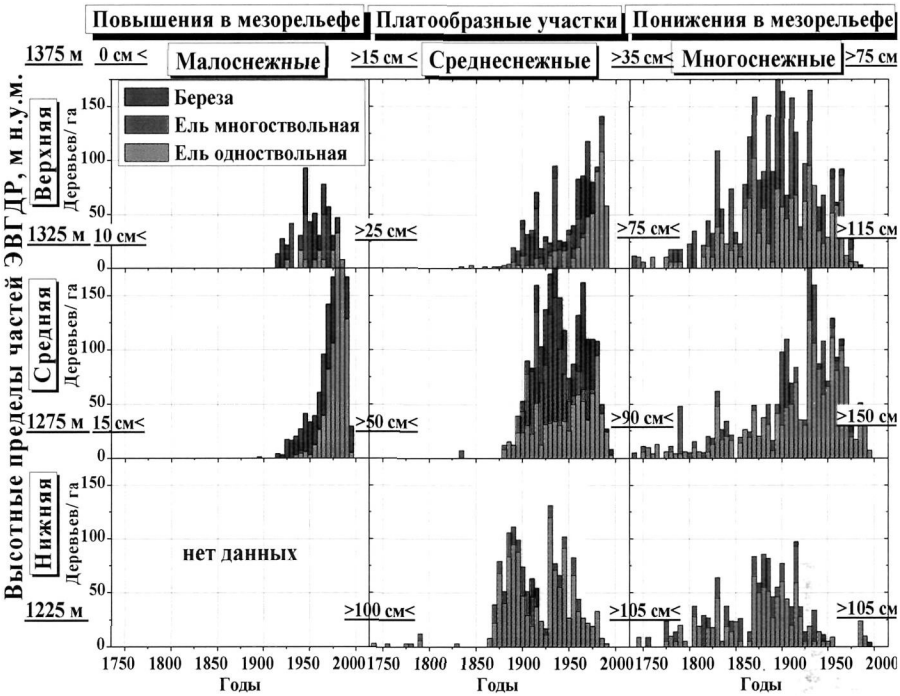

Рисунок 5 – Возрастная структура древостоев в различных по мощности снежного покрова местообитаниях в ЭВГДР на массиве Иремель

На среднеснежных местообитаниях нижней части ЭВГДР возраст самых старых стволов ели не превышает 260 лет. К концу 1880 гг. здесь появилось лишь 8–10% ныне растущих стволов, 90–95 % из которых сейчас входят в состав куртин многоствольных деревьев. Интенсивное формирование древостоев происходило здесь лишь в последние 110 лет и было приурочено к периодам между 1890 и 1910 и между 1940 и 1970 гг. Доля столов многоствольных деревьев уменьшилась в составе древостоев в XX в. до 17–20%, так как большинство вновь появлявшихся индивидуумов были одноствольными. Среднее покрытие крон здесь составляет около 60 %. В средней части экотона на подобных местообитаниях возраст самых старых стволов, как правило многоствольных деревьев, не превышает 130 лет, хотя возможно самые первые их стволы уже давно усохли и сгнили и поэтому невозможно установить реальное время появления таких индивидуумов. Здесь выделены два хорошо различимых периода формирования древостоев: первый пришелся на 1920-1940 гг. и в основном был связан с появлением новых стволов у многоствольных деревьев, второй – на 1980-2000 гг., когда резко возросло количество молодых одноствольных деревьев. Доля стволов многоствольников прекратила увеличиваться в составе древостоев в 1970-х гг. и сейчас не превышает 46% от их общего количества. Среднее покрытие крон деревьев здесь около 30%. В верхней части экотона на среднеснежных местообитаниях некоторые ели появились уже 150 лет назад. До конца XX в. формирование древостоев шло здесь за счет новых стволов многоствольных деревьев, и активное семенное возобновление здесь началось лишь в 1990-

2000 гг., хотя до сих пор остается вероятность перехода некоторых молодых деревьев в многоствольную форму роста. Средняя сомкнутость крон деревьев здесь около 10%.

На малоснежных местообитаниях в нижней части ЭВГДР возраст самых старых стволов елей не превышает 130 лет. К концу XIX в. здесь появилось лишь 15% от ныне растущих здесь стволов, 95% из которых составляют сейчас многоствольные деревья. В течение XX в. формирование древостоев происходило в основном за счет стволов многоствольных деревьев и лишь в 1970 г. их доля перестала увеличиваться и сейчас не превышает 52%. Среднее покрытие крон деревьев здесь составляет около 46%. Хотя в средней части экотона на таких местообитаниях самые старые стволы появились уже в 1920-х, но значительные изменения в численности произошли лишь в 1980-2000 гг., когда в каждом десятилетии здесь появилось и выжило к нашему времени 200–600 шт. подроста. Сейчас среднее покрытие крон деревьев здесь не превышает 5%. В верхней части экотона на таких местообитаниях прямоствольные взрослые деревья пока отсутствуют, а в отдельных местах встречаются лишь небольшие куртины стлаников.

При изучении ростовых процессов у ели в средней и нижней частях ЭВГДР и верхней части горно-лесного пояса на массиве Иремель было выявлено, что на одном и том же высотном уровне ход роста (по диаметру, в высоту и по объему) стволов деревьев с одинаковыми темпами роста (одноименных ранговых групп) в значительной мере определяется принадлежностью их к тому или иному возрастному поколению (Бабенко и др., 2008). Причем в средней и нижней частях ЭВГДР рост деревьев протекает тем интенсивнее, чем они моложе. Так, при одинаковом возрасте в 5 ранговой группе, отличающейся наибольшими темпами роста, превосходство деревьев первого возрастного поколения (30–50 лет) над деревьями третьего возрастного поколения (71–90 лет) в относительном выражении составляет 30–52 %. У деревьев низших рангов, отличающихся наименьшими темпы роста, отмеченные закономерности несколько завуалированы, что связано с ранговыми перестройками в процессе роста. В средней и нижней частях ЭВГДР, густота древостоев не может являться существенным фактором, определяющим ход роста деревьев. Поэтому мы считаем, что отмеченная закономерность связана с улучшением климатической обстановки в последние 50 лет. Также обращает на себя внимание то, что даже у деревьев старших возрастных поколений не выражено не только ожидаемое падение роста с возрастом, но и во многих случаях наблюдается повышение интенсивности прироста в последние 30–50 лет.

В верхней части горно-лесного пояса деревья молодого поколения отличаются менее интенсивным ростом, чем деревья старшего поколения. Такое положение объясняется конкурентными взаимоотношениями между деревьями. На данном высотном уровне древостои характеризуются более высокой густотой. Деревья молодого возрастного поколения появились под пологом древостоя старшего поколения, поэтому испытывали неблагоприятное влияние верхнего лесного полога. О конкурентных взаимоотношениях между деревьями в верхней части горно-лесного пояса свидетельствует и отсутствие здесь более молодых деревьев возрастом до 30–50 лет.

Также при сопоставлении хода роста деревьев, принадлежащих одному возрастному поколению и одной ранговой группе, было обнаружено, что интенсивность прироста понижается с увеличением высоты произрастания древостоев, так как при этом ухудшаются микроклиматические и почвенно-грунтовые условия.

Исходя из всех выше изложенных фактов, мы считаем, что в связи с изменениями климата на средних по крутизне, каменистости, увлажнению и снежности участках склонов изменения в структуре и высотной позиции древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания происходили следующим образом: 1) Увеличение мощности снежного покрова и температур воздуха в зимний период в конце XIX и начале XX вв. привели к увеличению температуры почв и усилению в них бактериальной активности. Это способствовало повышению количества доступных минеральных веществ (особенно N и P) в почве и вместе с сокращением потерь в зимнее время фракций мелких корней и ассимиляционного аппарата привело к увеличению углеродного баланса деревьев. Это, совместно с небольшим удлинением вегетационного периода, позволило стланикам и многоствольным деревьям в нижней части современного экотона (1225–1275 м н.у.м.) продуцировать дополнительные вертикальные побеги, которые стали в большем количестве выживать в зоне метелевого переноса снега. В этот же период, некоторые стволы многоствольных деревьев стали продуцировать достаточное количество жизнеспособных семян. Появляющиеся из этих семян всходы более успешно выживали в холодный период года, особенно на более снежных местообитаниях образуемых в непосредственной близости от увеличившихся в размерах многоствольных деревьев. Через 40–60 лет (в 1930–1960 гг.) деревья, появившиеся в конце XIX в. стали продуцировать собственные семена, что способствовало формированию нового поколения. Через несколько десятилетий, когда сомкнутость древостоев существенно увеличилась, смертность среди вновь появляющихся всходов значительно выросла. 2) Активное появление новых вертикальных побегов у стлаников и многоствольников в средней части экотона (на 1275–1325 м н.у.м.) происходило в 1910–1940 гг. Одноствольные деревья появились здесь одновременно с многоствольными, но также как и в нижней части экотона они начали продуцировать собственные семена лишь через 40–60 лет (в 1950–1980 гг.), что привело к появлению нового поколения. 3) На верхнем уровне ЭВГДР, из-за сильной ветровой нагрузки мощность снежного покрова была и остается достаточно низкой и в связи с этим почвы до сих пор промерзают на значительную глубину. Деревья появлялись здесь в течение всего XX в., но в основном многоствольные и в крайне небольшом количестве. Одноствольные деревья стали появляться в массовом количестве здесь лишь после 1970 г. и вблизи куртин многоствольных деревьев, где формируется более мощный снеговой покров.

ГЛАВА 4. ХРЕБЕТ БОЛЬШОЙ ТАГАНАЙ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Хребет Большой Таганай находится в северной части средневысотных южноуральских горных хребтов, представляющих собой обособленный горный узел, сложенных в основном плитчатыми кварцитами, которым подчинены слюдяные и слюдяно-гранатовые сланцы. По данным метеостанции «Таганай-гора», расположенной чуть выше границы редин на г. Дальний Таганай (1146 м н.у.м.), средняя месячная температура января –14,5±1,9, а июля 12,3±1,8°С, сумма положительных температур – 1100–1850 град/дн., продолжительность периода с температурами >5 °С равна 125 дням, осадков выпадает 600–1300 мм в год, средняя многолетняя мощность снежного покрова на 900 м н.у.м. – около 120 см. Наибольшая средняя месячная скорость ветра наблюдается зимой, когда на вершинах часты ветры со скоростью >25–30 м/с. Температура воздуха снижается на 0,53–0,58 градуса на каждые 100 м высоты. На склонах гор хорошо

прослеживаются вертикальные пояса растительности: горно-лесной на 700–1000 м, подгольцовый на 1000–1130 м и горно-тундровый на 1130–1170 м н.у.м.. Основными видами, доминирующими в ЭВГДР являются ель и береза. Местами на верхний предел выходят сосна и пихта.

На заложенном на г. Дальний Таганай профиле V средние значения морфометрических параметров елей уменьшаются в 2–3 раза по мере увеличения высоты н.у.м. (van der Meer et al., 2004)(табл.5). Средний возраст ели в нижней части ЭВГДР около 160, в средней – 100, а в верхней – 40 лет, а максимальный возраст – 330 лет.

Таблица 5 – Сомкнутость елово-березовых древостоев, морфометрические параметры и возраст елей на различных высотных уровнях профиля V (г. Дальний Таганай)

Профиль	Высотный уровень	Высота н.у.м., м	Пр. покрытие крон			Диаметр ствола На 1,3 м		Высота ствола		Возраст	
			%	доля в %							
				ель	береза	средний	макс.	средняя	макс.	средний	макс.
V	1	1095	40,6	78	22	5,9±0,5	19	2,8±0,1	4,7	38±3	152
V	2	1080	43,1	88	12	6,5±0,5	19,5	2,2±0,1	5,1	42±3	124
V	3	1065	82,0	96	4	11,3±0,3	29	4,6±0,1	8,9	106±3	177
V	4	1050	71,6	84	16	15,3±0,9	38	6,7±0,4	12	100±6	329
V	5	1005	38,4	71	29	19,5±0,6	30	9,1±0,4	13,8	158±4	206
V	6	990	42,7	85	15	28,8±3,3	70	8,4±0,7	11	198±21	306
V	7	950	44,1	91	9	27,5±3,0	59	10,6±0,9	16	144±11	196

Сопоставление современной растительности с той, что зафиксирована на старых ландшафтных фотоснимках начала и середины XX в., проведенное в более чем 30 точках этого района, показало, что в течение последнего столетия произошло поднятие ВГ древостоев различной сомкнутости на 80–100 м высоты.

ГЛАВА 5. ТЫЛАЙСКО-КОНЖАКОВСКО-СЕРЕБРЯНСКИЙ МАССИВ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

Тылайско-Конжаковско-Серебрянского массив, расположенный в южной части средневысотных хребтов, представляет собой частично обособленный горный узел на границе со Средним Уралом, сложенный в основном пироксенитами, дунитами и габбро. Климат холодный и избыточно влажный. Средняя температура января –16,8 °С, а июля – +14,0 °С, годовое количество осадков в долинах 500–700 мм, а в горах – до 1200 мм. В связи с вытянутостью массива в широтном направление на 20 км его западные и восточные склоны значительно отличаются по степени континентальности климата. Горно-лесной пояс, где преобладают темнохвойные леса с господством ели, пихты и кедра, поднимается до 900 м н.у.м. Выше (до 1050 м н.у.м.) расположен ЭВГДР, где произрастают эти же виды, а в восточной части массива к ним присоединяется лиственница. Выше 1000 м н.у.м. преобладают горные тундры и каменные россыпи.

При сравнительном анализе особенностей структуры древесной растительности в различных частях массива было выявлено, что по мере продвижения с запада на восток в составе древостоев возрастает доля лиственницы и кедра, рассчитанная через проективное покрытие крон, а доля ели значительно уменьшается. Доля березы сначала увеличивается к центру массива, а потом снижается. В составе древостоев от нижней к верхней части ЭВГДР на профилях I и II (восточная часть массива) количество видов

уменьшается с 5 до 2, при этом увеличивается доля лиственницы. На нижнем уровне здесь доминирует подрост темнохвойных видов (до 95%), на среднем – березы, на верхнем – кедра (59%). Древостои профиля III (центральная часть массива) на всех уровнях почти полностью состоят из березы (90-98%). Подрост также в основном представлен березой (на нижнем уровне – 83, на среднем – 96 и на верхнем – 79%). В составе древостоев профиля IV (западная часть массива) при увеличении высоты н.у.м. доля ели увеличивается с 88 до 98%. В составе подроста доля ели также повышается с увеличением высоты с 44 до 73%. На профиле V (западная часть массива) в составе древостоев при увеличении высоты н.у.м. доля ели возрастает с 57 до 99%. В составе подроста здесь на среднем и нижнем уровнях доминируют пихта (78 и 79%) с березой (41 и 29%), а на верхнем – ель (88%).

При увеличении высоты н.у.м. значительно изменяются средние морфометрические параметры доминирующих видов деревьев и их возраст (табл. 6). Так, на профиле I при переходе от нижнего к верхнему высотному уровню возраст уменьшается в 3,4 раза, диаметр – в 3,5 раза, высота – в 2,4 раза, густота – в 2,1 раза и сумма площадей проекций крон – в 7,6 раза. Подобные тенденции в изменении средних показателей древостоев наблюдается и на других исследованных профилях.

Таблица 6 - Густота и сомкнутость крон древостоев, средние морфометрические показатели деревьев доминирующих видов на профилях Северного Урала

Профиль	Вид	Высотный уровень	Высота над ур.м., м	Количество деревьев, шт./га	Сумма площадей крон, м^2/га	Показатели деревьев		
						Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м
I	лиственница	Верхний	985–1015	956	1700	56±3,0	4,4±0,2	2,6±0,1
		Средний	930–950	1955	6000	97±2,5	7,7±0,2	3,6±0,1
		Нижний	880–910	1980	12900	191±7,2	15,5±0,5	6,3±0,2
II		Верхний	1030–1060	400	1000	71±4,0	5,7±0,3	2,6±0,1
		Средний	985–995	1768	7900	89±3,4	11,7±0,5	4,5±0,3
		Нижний	940–960	1989	8100	144±8,2	17,6±1,0	5,9±0,3
III	береза	Верхний	1020–1040	1132	2000	46±2,6	2,7±0,1	3,3±0,2
		Средний	960–980	3725	8200	66±1,7	3,1±0,1	4,5±0,2
		Нижний	920–940	2009	7300	95±3,1	3,9±0,2	7,2±0,4
IV	ель	Верхний	1020–1050	563	1300	81±6,1	6,3±0,3	2,3±0,1
		Средний	980–1000	1300	3900	136±3,8	9,4±0,3	3,0±0,1
		Нижний	920–960	1744	7600	134±2,4	17,5±0,4	5,4±0,1
V		Верхний	1005–1020	1025	1400	44±1,8	3,1±0,2	2,1±0,1
		Средний	950–980	1238	4400	89±3,7	8,5±0,5	3,4±0,1
		Нижний	900–930	1157	11000	110±4,9	17,0±1,1	7,2±0,4

В восточной части массива средние показатели длины и массы шишек лиственницы от нижней к верхней части ЭВГДР в урожайный 2005 г. снижались от 25 от 19 мм и от 1,8 до 0,95 гр. Это отражается на количестве семян в них: в нижней части экотона в шишках насчитывалось в среднем 29–44 полнозернистых семян, в средней – 31–36, а в верхней – 12–23. Также в верхней части лабораторная всхожесть семян оказались самой низкой – 2–5%, а в средней и нижней частях она была 22–42% и 36–37% соответственно. На основе данных по количеству и качеству семян было вычислено, что в нижней части ЭВГДР в шишке находится в среднем 11–16, в средней – 7–15, а верхней

– 1 жизнеспособное семя. Также обнаружено существенное снижение количества всходов на га между нижней и верхней частями ЭВГДР. Однако при экспериментальном посеве проростки лиственницы обнаружены в немалом количестве и в верхней части, что также указывает на потенциальную возможность заселения ею территорий выше границы редколесий при наличии достаточного количества жизнеспособных семян и попадании последних в благоприятные условия для появления и последующего выживания всходов.

Наблюдения за температурой воздуха в кронах деревьев лиственницы в восточной части массива показали, что они снижаются в интервале между верхними границами сомкнутых лесов и редин в мае-сентябре на 0,17 и 0,43 °С, а в октябре-марте на 0,23 и 0,32 °С на северном и юго-восточном склонах соответственно. Снегомерные работы выявили, что в западной части массива на участках с доминированием ели мощность снежного покрова увеличивалась от 150–160 до 190–230 см от нижней к средней части ЭВГДР, а при дальнейшем подъеме к границе редин происходило постепенное её уменьшение до 90–120 см. При этом на участках с доминированием березы, расположенных на крутом южном склоне г. Конжаковский Камень от границы сомкнутых лесов до границы редин наблюдалось крайне незначительное уменьшение этого параметра - от 170–205 до 155–185 см. В восточной части массива на участках с доминированием лиственницы мощность снежного покрова увеличивалась от 130 до 160–170 см в интервале между границами сомкнутых лесов и редколесий, а при дальнейшем подъеме к границе редин наблюдалось резкое снижение этого параметра до 20–60 см. На участках с доминированием березы здесь в интервале между ВГ сомкнутых лесов и редин, также были отмечены крайне слабые изменения этого параметра, как и в западной части массива – от 160–205 до 125 см. Выше на безлесных тундровых участках склонов мощность снежного покрова была от 10 до 30 см, хотя в понижениях рельефа скапливался снег глубиной до 60 см.

Температура почвы при одной и той же мощности снежного покрова в верхней части ЭВГДР в западной и восточной части массива неодинаковы. Так, при глубине снега около 55 см в западной части она опускается до –3,0…–2,3 °С, а в восточной – до –6…–5,3 °С., а при глубине 100–115 см в западной части – до –2,0-…–1,4 °С, а в восточной – до –3,6 °С. Это, вероятно, связанно с различиями в длительности установления постоянного и достаточного для защиты от проникновения холода снежного покрова – в западной он устанавливается в начале зимы, а в восточной – ближе к ее середине. В нижней части ЭВГДР различий между западной и восточной частями не отмечается: при мощности снежного покрова выше 110 см температура почвы находится в интервале между –1,4 и –0,3 °С. Здесь постоянный снежный покров устанавливается одновременно, а возможный его недостаток в восточной части из-за выпадения меньшего количества осадков, компенсируется дополнительными порциями снега приносимого с вышерасположенных высотных уровней.

По данным исследований в 1956 (С.Г. Шиятов) и 2005 гг. (Капралов и др., 2006) вертикальное смещение верхней границы редколесий (рис.6) в целом по массиву составило 42 м, горизонтальное – 120 м. (в каждое 10-летие по 8–9 и 24 м соответственно). Наиболее интенсивно расселялась в горные тундры береза. Так, если в 1956 г. общая протяженность границы редколесий с ее доминированием составляла 38%, то в на-

стоящее время – 54%. Наиболее активной эта экспансия березы было в восточной части массива. Хотя доминирование кедра в целом по массиву увеличилось на 3%, но в западной части протяженность границы редколесий с его доминированием увеличилась на 7–13%, а в восточной снизилась на 12%. Роль древостоев с доминированием ели и лиственницы на верхней границе редколесий снизилась на 11 и 8 % соответственно. Полученные данные близки к оценкам сделанным при сравнении современной растительности с той, что отражена на старых фотоснимках, сделанных в 1952–1957 гг. П.Л. Горчаковским и С.Г. Шиятовым.

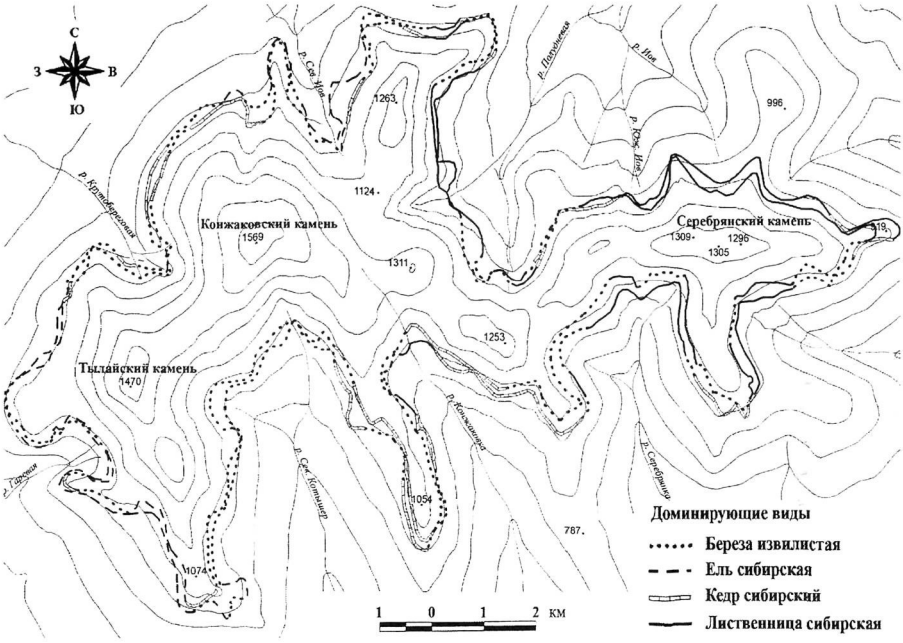

Рисунок 6 - Картосхема расположения верхней границы редколесий в 1956 г. (нижняя) и 2005 г. (верхняя линия) с учетом доминирования различных видов деревьев

Анализ данных по календарному времени появления деревьев на склонах г. Серебрянский Камень (профили I и II) показал, что для нижнего уровня были характерны два периода массового заселения лиственницей: 1775–1815 гг. – 37% от ныне растущих деревьев и 1880–1940 гг. –22% (Моисеев и др., 2010) (рис. 7). На среднем уровне ее массовое появление происходило в период с 1890 по 1960 (80%), а на верхнем – в 1940–1990 гг. (83%). Нижний уровень этих профилей наиболее активно заселялся березой в 1900–1935 (40%) и 1945–1995 гг. (52%). Интенсивное возобновление березы на среднем уровне приурочено к 1945–1995 гг. (83%), а произрастающее на верхнем уровне небольшое ее количество, появилась лишь после 1975 г. Ель на нижнем уровне стала заселяться еще в начале XIX в., но основная ее часть появилась в течение XX в. Заметное заселение елью среднего уровня началось в конце XIX в., однако достаточно активным этот процесс стал лишь в середине XX в.На верхнем уровне единичные ели появились в начале XX в., но ее заметное возобновление происходило в конце этого столетия. Кедр

на нижнем уровне появился в начале XIX в., т.е. раньше, чем ель и береза, но позднее, чем лиственница. Однако наиболее активное возобновление кедра происходит с 1980 г. Начало заселения кедром средней части приходится на 1910-е годы, но значительно увеличилось его присутствие, как и на верхнем уровне, лишь в 1980–2000 гг.

На склонах г. Конжаковский Камень (профиль III) береза интенсивно заселяла нижний уровень с 1890 по 1940 г. (71% от ныне растущих деревьев), средний – с 1910 по 1960 г. (70%), верхний – 1940 по 2000 г. (89%) (Бартыш и др., 2008). На ЮЗ склоне г. Острая Косьва (профиль IV) ель наиболее активно заселяла нижний уровень в 1820–1940 гг. с пиком в 1870-х годах (63% от ныне растущих деревьев), средний – в 1840–1940 гг. с пиком в 1900-х (87%), а верхний – в 1880–1950 гг. с пиком в 1920-х (50%). Заселение елью северо-западного склона г. Тылайский Камень (профиль V) происходило несколько позже, чем на профиле IV: на нижнем уровне – в 1860–1940 гг. (81%), на среднем – 1890–1960 гг. (82%), на верхнем – 1940–1990 гг. (90%). Береза на этих профилях в массовом количестве стала появляться в 1880–1960 гг.

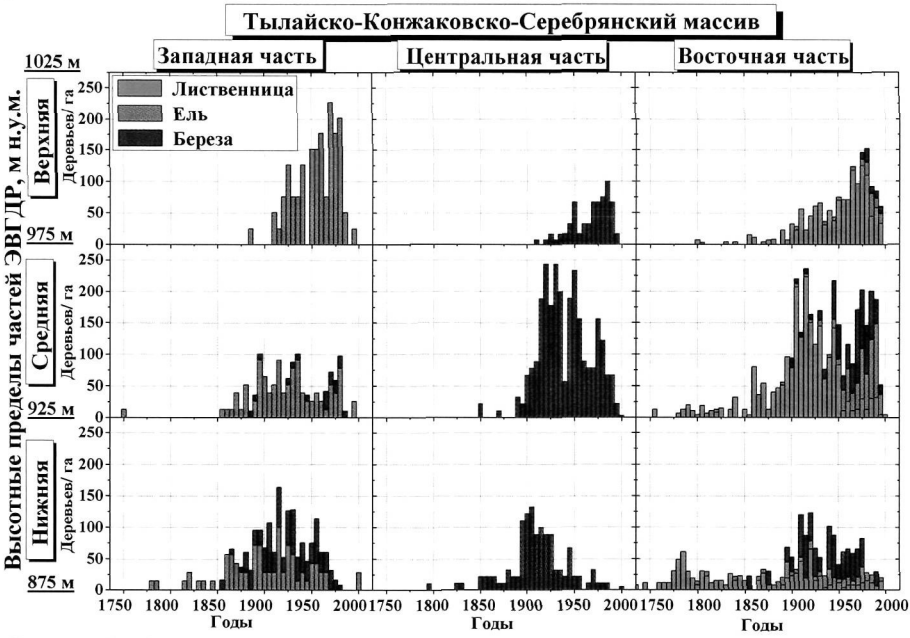

Рисунок 7 – Возрастная структура древостоев на верхнем пределе их произрастания в различных частях Тылайско-Конжаковско-Серебрянского массива

Специальные исследования (Осокин, 2001) показали, что за счет разницы в условиях, начале и интенсивности снегонакопления глубина промерзания грунта может отличаться в 2–3 раза. Для исследуемого района характерны благоприятные изменения в режиме снегонакопления в последней половине XX века. Так, произошло существенное увеличение количества осадков в первой половине зимы, поэтому снежный покров стал формироваться на незамерзшей почве, очень быстро наращивать свою мощность и в результате почвы стали меньше промерзать. Для подроста очень важны какие климатические условия сложатся в период его выхода из-под защиты снежного покрова в зоне

метелевого переноса (до 60–100 см от поверхности снежного покрова). Обычно, побеги и почки сильно повреждаются снежной абразией, засыхают, вымерзают и в результате этот рубеж долго не преодолевается и часть подроста гибнет (Шиятов, 1965). В теплые и многоснежные зимы меньше повреждаются корни, интенсивнее идет кругооборот минеральных веществ, почва меньше промерзает и быстрее оттаивает весной, что в сочетании с удлинившимся вегетационным периодом приводит к более интенсивному росту и одревеснению молодых побегов. В результате верхушки стволиков подроста успешнее преодолевают зону метелевого переноса.

Как было показано выше, лесорастительные условия на обследованных профилях в значительной мере определяются удаленностью от западного края массива: чем западнее, тем влажнее почва и больше мощность снежного покрова. Это связанно с задержкой большей части воздушных масс, приносимых преобладающими здесь западными ветрами, на склонах наиболее возвышенной западной и центральной части массива, при этом восточная часть остается как бы в «аридной тени». Известно, что ель является влаголюбивым видом и страдает от промерзания почвы. Поэтому ельники сосредоточены в западной части массива – в местах с влажной почвой и большой глубиной снега (1,2– 2,0 м), где почва почти не промерзает. На профиле III произрастают чистые березовые древостои и почти нет елового подроста, хотя условия для его роста весьма благоприятные (защита березового полога, влажные и непромерзающие почвы). Сложившуюся ситуацию можно объяснить тем, что из-за особенностей снегонакопления (выпадает и накапливается на всех уровнях много снега) и рельефа (чем выше, тем круче склон) снег периодически сползает. В результате этого гибкая береза пригибается к земле, а ель ломается. Летом береза частично выпрямляется, а ель погибает.

В восточной части массива, где велика доля лиственницы в составе древостоев, условия произрастания более суровые – мало снега, почвы менее влажные, более контрастный температурный режим. Так, глубина снега на верхнем уровне высотных профилей достигает в среднем 20–60 см. В подобных условиях выживает только лиственница. Ель и береза встречаются лишь на среднем и нижнем уровнях профилей, где снежный покров более мощный за счет переноса снега ветром с безлесных склонов гор и почва промерзает меньше. Береза, как и ель, плохо переносит промерзание почвы. В опытах над сеянцами березы в Лапландии (Weih, Karlsson, 2002) сравнивалось влияние промерзания почвы в 2 вариантах – до –1,7°С и при –10,5°С. Установлено, что низкая зимняя температура почвы приводит к повреждению мелких корней зимой, и это способствует росту замещающих корней и снижению в летнее время способности к поглощению питательных веществ и скорости роста, а в конечном итоге это отрицательно сказывается на выживании всходов березы. Следовательно, общее для всего исследуемого района увеличение количества осадков зимой способствует укреплению позиций березы по всему массиву.

Таким образом, приведенные выше материалы свидетельствуют о том, что с конца XIX в. произошло существенное (около 100 м высоты) поднятие верхнего предела произрастания древостоев различной сомкнутости, хотя их формирование началось еще в конце XVIII в. Так, лиственница начала заселять безлесные пространства в восточной части массива в конце XVIII – начале XIX в., ель в западной части – в середине XIX в., а береза в южной части – в конце XIX в. Экспансии леса благоприятствовало увеличе-

ние длины вегетационного периода и уменьшение суровости зимних условий для выживания и роста древесных растений (более высокая температура воздуха и почвы и большее количество твердых осадков). Различия между склонами в составе древостоев и особенностях экспансии леса объясняются такими локальными условиями местообитаний, как степень континентальности мезоклимата, мощность снежного покрова, влажность и степень промерзания почвы.

ГЛАВА 6. РАЙОН ГОРЫ НЁРОЙКА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Гора Неройка находится в южной части Исследовательского кряжа Приполярного Урала. Климат здесь резко континентальный, суровый, с длинной морозной зимой и коротким прохладным летом. Годовое количество осадков – 1500 мм. Зимой выпадает около 30–40 % осадков, а на возвышенных участках гор – до 50 % и более. Вблизи верхнего предела лесов (500–600 м н.у.м.) мощность снежного покрова колеблется от 0,1 до 5 м. Зимой в горах часто дуют сильные ветры (до 20–30 м/сек), в основном, западных румбов. Сомкнутые леса поднимаются в горы в среднем до высоты 550–650 м н.у.м., а по долинам рек еще выше (до 750 м). Чем выше высота н.у.м., тем больше в составе древостоев доля лиственницы. Верхнюю границу редколесий и редин составляют лиственничники, в сочетании с извилисто-березовыми криволесьями и зарослями ольховника (*Alnaster fruticosus* Rupr.). В горных тундрах с увеличением высоты альпийские луга, кустарниковые и кустарничковые заросли из *Betula nana* L., *Ledum decumbens* Small и *Vaccinium uliginosum* L. уступают место лишайниково-моховым тундрам и каменным россыпям.

Сравнение 75 разновременных фотографий (1934, 1948, 1970, 2007–2010 гг.), топографических карт (1956 и 1995 гг.) и описаний древостоев (1970 и 2009 гг.) в ЭВГДР показало, что в последние 40–60 лет на Приполярном Урале произошло смещение ВГ редколесий и сомкнутых лесов на 20–60 м высоты в зависимости от крутизны склона, каменистости и фоновой мощности снежного покрова.

При изучении состава и структуры древостоев на нижнем уровне профиля I на склоне г. Хусь-Ойка (Приполярный Урал) на участках с доминированием березы было выявлено, что возраст самых старых деревьев лиственницы близок к 140 годам (рис.8) (Григорьев и др., 2010). К концу XIX в. лишь 15% ныне растущих лиственниц появилось здесь. Массовое засе ление лиственницей этого уровня произошло в 1890–1960 гг. Береза на этом уровне стала появляться здесь лишь в начале XX в., но в период с 1930–1950 гг. она стала активно заселять подобные участки и к концу столетия по количеству стволов она уже превосходила лиственницу в 4–5 раз. На верхнем уровне первые лиственницы начали появляться на подобных участках в 1930-х годах, а основное их количество (38 шт./га) заселилось в 1950–1970 гг. Береза отставала от лиственницы по времени массового появления здесь на 20 лет. Однако, березы сейчас больше в 4 раза, чем лиственницы.

Заселение участков с преобладанием лиственницы на нижнем уровне профиля I началось в начале XVIII в. Однако, этот процесс протекал достаточно медленно – к концу XVIII в. на этих участках произрастало только 10–15 % ныне растущих деревьев. Массовое заселение лиственницы произошло в 1920–1950 гг., когда появилось 65 % ныне существующих деревьев. Береза здесь стала появляться лишь в начале XX в., а наиболее активно заселяться – только в 1950–1970 гг. На среднем уровне процесс фор-

мирования лиственничников шёл аналогичным образом, но с явным смещением его интенсивности на период после 1920 г. Деревьев березы на этих участках слишком мало, чтобы говорить о ее активном заселении. На верхнем уровне лиственница стала заселяться значительно позже (в начале XX в.) и основное количество ныне растущих деревьев (40–50 шт./га) появилась здесь после 1970 г. Заселение этих участков березой началось только с 1960-х годов.

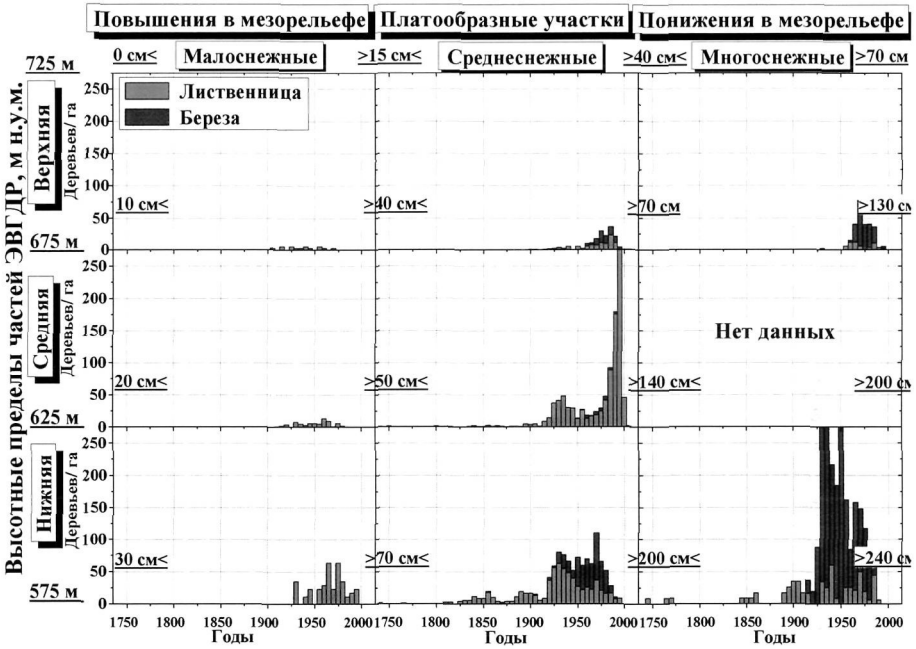

Рисунок 8 - Возрастная структура древостоев в различных по мощности снежного покрова местообитаниях в ЭВГДР Приполярного Урала

На г. Сале-Пасне-Нер (профиль III) на всех высотах первые лиственницы появились лишь в начале XX в. Даже на нижнем уровне количество стволов растущих здесь многоствольных лиственниц не превышает 200 шт./га, а их морфометрические показатели в 2–4 раз ниже, чем на других обследованных профилях. На среднем и верхнем уровнях появление первых деревьев началось еще в конце XIX в., но до сих пор их численность здесь крайне низка.

Результаты наших исследований показали, что, начиная с конца XIX в., на Приполярном Урале имело место повышение верхнего предела произрастания древесной растительности, но скорость и характер заселения ранее безлесных территорий в значительной степени определялся локальными условиями местообитаний, в частности, мощностью снежного покрова. Так, поднятие верхней границы леса началось на средних по мощности снежного покрова участках г. Хусь-Ойка и Нер-Ойка (фоновая мощность снежного покрова на конец зимы 1,0–2,0 м), и первой стала заселять ранее безлесные территории лиственница, а на малоснежных участках (до 0,5 м.) г. Сале-Пасне-Нер это произошло на 100 лет позже.

ГЛАВА 7. МАССИВ РАЙ-ИЗ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

На Полярном Урале исследования проводились на сопке, отметкой высоты 312,8 м н.у.м., расположенной в 4 км к востоку от г. Черной и правой боковой морене р. Енга-Ю (Шиятов, Мазепа 2007). Климат Полярного Урала суровый, резко континентальный. Зима продолжительная и очень морозная с обильными снегопадами и сильными метелями, где скорость ветра иногда достигает 50–60 м/с. Средняя годовая температура воздуха составляет от –5 до –8°С. Средняя многолетняя температура твоздуха в январе –21,4, а в июле 14,4 °С, но дневная температура в июле – августе может повышаться и до 25–30 °С. Продолжительность периода с температурами >5 °С равна 100 дням. Горно-лесной пояс доходит до высоты 150–200 м. н.у.м. Его образуют редкостойные елово-березовые или елово-лиственничные леса. Основными лесообразующими видами являются лиственница, ель, березы. В подгольцовом поясе (до 350 м н.ур.м) происходит отложение больших масс снега, сдуваемого с гор. Здесь распространены чистые лиственничные (восточный склон) или елово-березовые (западный склон) редколесья. В нижнем ярусе преобладают гипоарктические кустарнички, ерники и ивняки. Древостой характеризуется редкостойностью, низкорослостью деревьев, искривленностью стволов и флагообразностью крон. В горно-тундровом поясе (до 500–600 м н.ур.м) представлен комплекс мохово-лишай-никовых, кустарничковых и кустарниковых тундр. Полоса кустарниковых тундр представлена, в основном, ерниковыми сообществами с напочвенным покровом из зеленых мхов или трав. В местообитаниях с обильным проточным увлажнением встречаются заросли ольховника и ив (*Salix lapponicum L., S. glauca L., S. phylicifolia L.*). Пояс холодных гольцовых пустынь располагается выше 500–600 м н.у.м, где характерны каменные россыпи и скалистые останцы, покрытые скудной моховой и лишайниковой растительностью.

На исследуемых профилях в составе древостоев преобладает лиственница. Наблюдается закономерное уменьшение морфометрических параметров деревьев (диаметра (с 19,4 до 8,1 см), высоты (с 8,7 до 3,0 м)) и их числа (с 458 до 17 шт./га) по мере увеличения высоты н.у.м (Шиятов, Мазепа 2007).

Установлено, что средние показатели длины (27–32 мм) и массы шишек (1,9–2,5 гр.) лиственницы от нижней к верхней части ЭВГДР на Полярном Урале почти не изменяются. Но количество полнозернистых семян в них в отдельные годы заметно снижается, особенно при переходе от средней к верхней части ЭВГДР (в 2008 г – с 20 до 12), при этом заметно снижается и лабораторная всхожесть семян (с 19 до 10%). На основе данных по количеству и качеству семян было вычислено, что в нижней части ЭВГДР в различные годы в шишке находится в среднем от 11 до 13, в средней – от 4 до 10, а верхней – 1 жизнеспособное семя.

В разные годы количество появившихся проростков лиственницы довольно сильно отличалось, что в первую очередь зависит от урожая семян в предыдущий год и их качества. На Полярном Урале малоурожайным был лишь 2006 г., в остальные годы (2004, 2005 и 2007, 2008) урожай семян лиственницы был средним или даже выше среднего. Если в августе 2005 и 2009 гг. в средней части экотона на I профиле насчитывалось 5,4–8,4 тыс. шт./га проростков, то в 2006 г. их было в 9–14 раз больше (76 тыс. шт./га). В 2007 и 2008 гг. число появившихся проростков было самым низким все годы

наблюдений (всего 2,1-2,8 тыс. шт./га в средней части экотона). В верхней части ЭВГДР проростки лиственницы за все годы наблюдений не были обнаружены.

На Полярном Урале отмечена самая лучшая выживаемость всходов лиственницы. Все 100 % всходов во всех частях экотона, появившихся в 2005 г., сохранились до следующего года. К концу второго вегетационного периода сохранилось 80% всходов, за исключением нижней части экотона на профиле II (лишь 12%). Смертность всходов, появившихся в 2006 г., составила 62% в средней части экотона. В нижней части профиля I погибла почти половина всходов, а на профиле II – почти 90%. Другими словами, всходы лиственницы в районе г. Черной появляются и выживают в большем количестве в средней части экотона, так как здесь складываются наиболее благоприятные условия для прорастания семян и выживания всходов. В верхней части ЭВГДР всходы лиственницы не встречаются (за все годы наблюдений) это связано главным образом с недостатком жизнеспособных семян. В нижней части экотона всходы лиственницы хотя и появляются, но высокая их смертность может быть объяснена сильной конкуренцией со стороны густых кустарникового и травяно-кустарникового ярусов.

Анализ температур воздуха (данные предоставлены С.Г. Шиятовым и В.С. Мазепой) в июне-сентябре в кронах деревьев лиственниц на восточном склоне высоты 312 м н.у.м., расположенной к востоку от г. Черной, в 2003–2004 гг. показал, что они уменьшаются в отдельные месяцы на 0,4 °С от верхней границы сомкнутых лесов до верхней границы редин. В ноябре-марте температуры наоборот увеличиваются при подъеме в гору на 1,1–1,9 °С, что связанно с инверсиями, когда холодный воздух застаивается в долинах и нижних частях склонов.

Мощность снежного покрова на восточном склоне сопки 312 м н.у.м. в марте 2006 г. имела увеличивается от 137 до 416 см от ВГ сомкнутых лесов до ВГ редколесий (от 185 до 235 м н.у.м.), при этом на подветренных сторонах островков редколесий наблюдается скопление сугробов снега мощностью до 5-6 м. После 235 м н.у.м. средняя мощность снежного покрова снижалась через 10 м высоты сначала до 264 см и далее к вершине сопки до 31 см. Столь существенные изменения связаны с переносом с вышележащих высотных уровней и накоплением больших масс снега за лесными островами.

На Полярном Урале, при мощности снежного покрова 20–50 см на верхних уровнях ЭВГДР в марте 2006 г. температура почвы опускалась до –6…–12 °С, а при мощности 125–150 см была между –6…–1,6 °С, а при мощности более 200 см была близка к –1 °С. Также было выявлено, что температура при одной и той же мощности существенно отличается даже в пределах одного уровня, что вероятно связано с длительностью установления и достаточного для защиты от проникновения холода из атмосферы снежного покрова. Самые высокие значения отмечаются на южном склоне массива Рай-Из, где снежный покров устанавливается, вероятно, раньше всех за счет переноса снега с вышележащих безлесных участков, а самые низкие значения наблюдались на вершине сопки с отметкой высоты 312 м н.у.м. (профиль I), где снежный покров был маломощный и имел неравномерное распределение.

Анализ полученных данных по Полярному Уралу показал, что на выживаемость проростков и всходов лиственницы отрицательное влияние оказывают такие факторы, как мощный снеговой покров (более 150 см) и густой кустарниковый ярус из карликовой березки и ив, а положительное влияние - высокая температура почвы в зимний пе-

риод, влажность верхних горизонтов почвы, высокое обилие мелких кустарничков (водяника, дриада). Прорастание семян и выживание проростков и всходов лиственницы лучше происходит на травянистом опаде, а на моховом и лишайниковом покровах, а также на сильно каменистой почве, этот процесс протекает значительно труднее.

Специальные исследования С.Г. Шиятова с коллегами (2005, 2007, 2009) динамики древесной растительности в этом районе показали, что с 1910 гг. по наше время общая площадь редин, редколесий и сомкнутых лесов возросла на 41%, при этом верхняя граница редколесий поднялась в среднем на 26 м, а сомкнутых лесов – на 35 м, а горизонтальный сдвиг составил 290 и 520 м соответственно. Одновременно с увеличением площадей, занятых редколесьями и сомкнутыми лесами, значительно увеличился прирост деревьев в высоту и по диаметру (Шиятов, Мазепа 2007). Средняя величина годичного радиального прироста за последние 70–90 лет составила 0,83 мм, которая в предшествующие 60-80 лет была примерно в 4 раза меньше (0,21 мм). После 1920-х годов заметно увеличился средний прирост в высоту у лиственницы одноствольной формы роста – почти в 2 раза (с 3,2 до 6 см), а у стланиковых и многоствольных форм роста – в 4-5 раз (с 0,4–1,2 до 1,9–5,2 см соответственно) (Дэви, Мазепа, 2009).

ГЛАВА 8. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОВИНЦИЯХ УРАЛА

При помощи анализа изображений современных аэрокосмоснимков высокого разрешения (1м^2/пикс) в программе Google Eearth 5.0 и собственных натурных исследований было выявлено, что на отрезке от Южного до Приполярного Урала (54,25–65,25° с.ш.) на крайних западных горных хребтах средняя высота расположения ВГ редколесий на 115–120 м ниже, чем на крайних восточных (рис. 9). Также было установлено, что ВГ редколесий в этих природных провинциях Урала снижается на 65 м высоты на каждый 1° широты. На Полярном Урале (65,5-67,5°), где леса произрастают у подножия восточного макросклона, высота расположения ВГ редколесий снижается от южной к северной его части с 480 до 130 м н.у.м., что составляет около 175 м на 1° широты.

Различия в средней высоте расположения ВГ редколесий на разных макросклонах Уральских гор связано с более сильным влиянием на климат западных хребтов влажных Атлантических воздушных масс, что приводит к выпадению большего количества как жидких, так и твердых осадков (в 1,5 раза) и поэтому к более позднему стаиванию снега и более короткому и прохладному вегетационному периоду. Резкое снижение ВГ редколесий с продвижением на север на склонах гор Полярного Урала связано с усиливающимся влиянием на климат холодных арктических воздушных масс по мере приближения к Северному Ледовитому океану, что еще существеннее снижает продолжительность вегетационного и безморозного периода. Аналогичные, а местами и более выраженные (до 400 м разницы) (Альпы, Скалистые горы, Скандинавия), тенденции отмечаются во многих районах мира (Holtmeier, 2003; Korner, 1999).

При сравнении расстояния (по вертикали) между ВГ сомкнутых лесов и редин на пологих склонах со средней степенью увлажнения, каменистости и снегонакопления в различных природных провинциях Урала было отмечено, что оно составляет в среднем 80–100 м. На участках склонов, где происходит резкое изменение почвенно-грунтовых условий (каменистости, увлажнения) или мощности снежного покрова, что бывает довольно часто в горах, оно не превышает нескольких десятков метров. Верхний предел

распространения древесных растений, чаще стланиковой формы роста, также сильно зависит от особенностей условий местообитаний и доминирующего здесь вида, но в среднем он бывают выше ВГ редин на 100–200 м по вертикали.

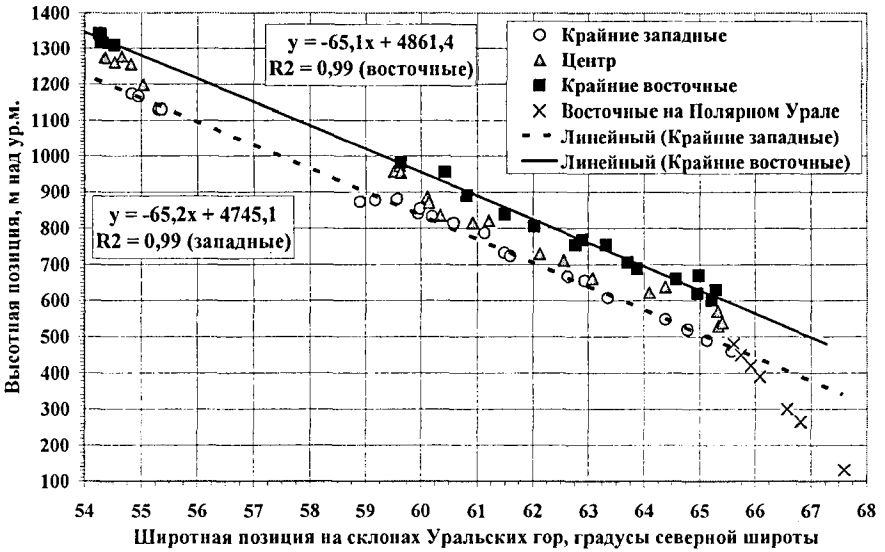

Рисунок 9 – Изменение современной средней высоты расположения верхней границы редколесий на склонах Уральских гор с продвижением с юга на север

Как отмечалось и ранее (Горчаковский 1966, 1975), состав древостоев на верхнем пределе их произрастания по мере продвижения с юга на север вдоль Уральских гор значительно изменяется. Так, на всем Южном Урале (54,2–55,4° с.ш.) доминирующим видом в ЭВГДР является ель, хотя на малоснежных перевалах и отрогах она уступает место березе. Лиственница встречается здесь крайне редко и чаще в горно-таежном поясе. В южной части Северного Урала (59–61° с.ш.), древостои в ЭВГДР на западных хребтах состоят в основном из ели и березы, с небольшой примесью кедра. На центральных же и восточных хребтах помимо широко распространенных здесь елово-березовых и кедровых древостоев отмечаются участки с доминированием лиственницы, особенно на малоснежных отрогах и перевалах. В центральной части Северного Урала (61–63° с.ш.) на большинстве крайних западных хребтов преобладают древостои с доминированием березы с примесью ели и пихты, а на отдельных невысоких каменистых вершинах встречаются участки полностью занятые кедром. По мере продвижения к восточной окраине в елово-березовых древостоях увеличивается доля кедра и лиственницы, особенно это заметно в нижних частях склонов, где нередко встречаются довольно старые их экземпляры. С продвижением на север в пределах Северного Урала на склонах сначала отдельных восточных, а далее и западных хребтов на верхней границе редколесий и редин появляется все больше участков с доминированием лиственницы. В северной части Северного Урала (63–64° с.ш.) участки с доминированием елово-березых древостоев на протяжении всего ЭВГДР остаются лишь на крайних западных, в то время как лиственница становится основным древесным видом выше границы

редколесий на всех центральных и восточных хребтах. На большинстве пологих и средних по крутизне склонах гор Приполярного и Полярного Урала (севернее 64° с.ш.) в пределах ЭВГДР в составе древостоев доминирует лиственница, к которой в нижней части нередко добавляется в значительном количестве береза. На крайне многоснежных участках чаще всего встречаются древостои с доминированием березы или заросли ольховника. Кедр встречается чаще всего в виде примеси во многих древостоях. Ель встречается здесь редко в основном в виде низкорослых многоствольных деревьев.

Наблюдаемое изменение состава древостоев по мере продвижения от Южного до Полярного Урала связано с существенным изменением особенностей климата, приводящих, с одной стороны, к более позднему стаиванию снега и сокращению вегетационного периода до 2–2,5 месяцев, а с другой стороны к увеличению континентальности (увеличению контрастности термического режима и длительности периода с крайне низкими температурами воздуха и почвы). Подобная ситуация наблюдается в Альпах и Алтае, где в составе древостоев в ЭВГДР с увеличением континентальности климата происходит смена доминантов с ели и пихты на кедр и лиственницу (Holtmeier, 2003).

Анализ средней высоты ели сибирской на среднеснежных участках с ее доминированием на ВГ сомкнутых лесов показал, что как на Южном, так и на юге Северного Урала, средняя высота елей колеблется в интервале 5–8 м, на ВГ редколесий – 3,0–4,5 м, а на ВГ редин – 1,7–2,5 м. В высотной полосе до 100 м выше границы редин средняя высота елей, кустовой и многоствольной формы роста, колеблется в интервале 1–1,5 м, а в полосе от 100 до 200 м выше границы редин, как правило, не превышает 0,5 м.

Анализ средней высоты березы извилистой в различных типах древостоев и природных провинциях Урала показал, что наибольшие ее значения отмечаются в чистых березняках на склонах гор Северного Урала (на ВГ сомкнутых лесов – 6,8–7,6 м; редколесий – 4,3–4,7 м; редин – 3,1–3,5 м), которые в 1,5–2 раза выше, чем в древостоях с доминированием лиственницы или ели (наиболее низкорослые). Выше границы редин береза встречаются крайне редко, лишь на участках, где ниже доминирует этот вид.

Анализ средней высоты лиственницы сибирской на ВГ сомкнутых лесов на участках с ее доминированием показал, что на юге Северного Урала она колеблются в интервале 5,6–6,5 м, на границе редколесий – 3,5–4,6 м, а на границе редин – 2,5–2,7 м. На Приполярном Урале она колеблется на ВГ сомкнутых лесов в интервале 7,2–10,7 м, на ВГ редколесий – 6,4–8,5 м, а на ВГ редин – 2,7–3,6 м. На Полярном Урале она колеблется границе сомкнутых лесов в интервале 6,8–8,4 м, на границе редколесий – 4,3–5,4 м, а на границе редин – 1,7–2,6 м.

Для всех высокогорных провинций Урала отмечается, что с увеличением высоты н.у.м., особенно при переходе от средней к верхней части ЭВГДР, происходит существенное снижение числа плодоносящих хвойных деревьев и продуцируемых ими шишек и жизнеспособных семян. Четких географических закономерностей в изменении количественных и качественных показателей шишек и семян не наблюдается, что объясняется примерно одинаковыми (жесткими) условиями среды в ЭВГДР в разных географических районах. Но наибольшая частота высоких урожаев в ЭВГДР у ели наблюдается на Южном, а у лиственницы на Полярном Урале.

Для ЭВГДР в целом характерны очень низкие показатели выживаемости подроста. Часто появившиеся всходы через 1–2 года погибают полностью. Наиболее значимыми

факторами, лимитирующими выживание всходов, является глубина снежного покрова и зависящая от нее температура верхних слоев почвы, а также степень конкуренции со стороны материнского древостоя, кустарниковой и травяно-кустарничковой растительности. Более благоприятные условия для появления и выживания всходов складываются в средней части ЭВГДР. Это объясняется значительно большей глубиной снежного покрова (по сравнению с верхней частью) и меньшей конкуренции со стороны древостоя и напочвенного покрова (по сравнению с нижней частью).

Выявляется общая для всех профилей закономерность в распределении подроста по морфометрическим параметрам, которая заключается в преобладании подроста с низшими значениями диаметра, высоты и возраста. Это объясняется тем, что мелкий подрост в холодное время года находится под защитой снежного покрова. После выхода из-под снега подрост попадает в жесткие условия (отрицательные температуры, сильные ветры, снеговая шлифовка и т.д.) и в массовом количестве гибнет. Однако сохранившийся в этот крайне неблагоприятный период в небольшом количестве подрост обладает высокой устойчивостью (в старших возрастных группах и высоких ступенях высоты отпад практически отсутствует) и обычно доживает до взрослого состояния, формируя тем самым древостои в ЭВГДР. В целом, для обеспечения даже очень низких показателей лесовозобновления в жестких условиях высокогорий необходимо оптимальное сочетание различных факторов (наличие достаточного количества семян, благоприятного температурного режима, мощности снежного покрова и т.д.).

Повсеместно в высокогорьях Урала, температура воздуха снижается крайне незначительно (на 0,2–0,9 °С) при переходе от нижней к верхней части ЭВГДР по сравнению с температурой верхних слоев почвы, которая становится существенно ниже на большинстве участков склонов, как в начале лета (на 1,5–3°С), так и в течение всей зимы (на 3–5°С). Это особенно заметно в интервале между ВГ редколесий и редин, где мощность снежного покрова на большинстве участков уменьшается в 3–4 раза. Также отличительной особенностью изменений в этом интервале является сокращение на 4–10 дней длительности вегетационного периода.

Как видно из приведенных выше результатов, наиболее значительные изменения семенной продуктивности наблюдаются при переходе от средней к верхней части ЭВГДР. Поскольку различия средних летних и зимних температур воздуха в этих частях экотона незначительны (0,6–0,9°С), то этим фактором нельзя объяснить столь явно выраженную тенденцию в снижении урожайности. Известно (Cairns, 2001), что сильные (более 10–15 м/сек) ветры, характерные для высокогорий, приводят к значительному морозному иссушению и снежной абразии хвои, почек и побегов, расположенных выше уровня снега, что вызывает ежегодно гибель от 4 до 10 % ассимиляционного аппарата хвойных деревьев. Кроме того, ветер резко снижает мощность снегового покрова в верхней части лесотундрового экотона, что приводит к понижению зимней температуры почвы до –5…–6 °С, промерзанию и морозному пучению верхних слоев почвы и, как следствие, существенному повреждению мелких корней. По данным Д. Тиерней с соавт. (Tierney et al., 2001) понижение температуры почвы ниже –4°С и ее промерзание до 25–30 см вызывает увеличение в два раза доли отмерших мелких корней (с 14 до 28%), нарушение симбиотических взаимоотношений с микоризными грибами и снижение бактериальной активности (Mikan et al., 2002). Все это ведет к уменьшению коли-

чества всасываемых из почвы минеральных веществ, в частности азота и фосфора и замедлению их кругооборота (Kammer et al, 2009). Глубокое промерзание почвы в верхней части экотона приводит к более длительному ее отогреванию после зимы и более низким температурам в начале лета. Потеря части ассимиляционного аппарата и фракций мелких корней, а также ухудшение минерального питания деревьев оказывают отрицательное воздействие на нетто-фотосинтез, запасание питательных веществ, количество и размеры репродуктивных органов, что в итоге приводит к резкому снижению количества и качества продуцируемых семян.

Изучение лабораторной всхожести семян, собранных на разных высотных уровнях на массиве Иремель, показало, что размах изменений этих показателей значительно меньше (2–2,5 раза), чем изменения семенной продуктивности (170–265 раз). Некоторые исследователи указывают (Almqvist et al., 1998), что для вызревания 50% семян ели европейской необходимо не менее 700 градусодней с температурой выше 5°С, а для 95% – 875 градусодней. Сравнение сумм температур выше 5 °С летом 2003 г., рассчитанных по данным термодатчиков, показало, что они были выше пределов, указанных в литературе и не имели существенных различий между высотными уровнями. Поэтому мы пришли к выводу, что сумма температур в летний период является не единственным фактором, определяющим различия в качестве семян, собранных в верхней и средней частях экотона. Вероятнее всего, что семенная продуктивность в большой степени зависит от продолжительности вегетационного периода, а также температурных и ветровых условий зимнего периода.

Значительные изменения численности всходов при переходе к верхней части ЭВГДР нельзя объяснить только резким уменьшением выпадающих на единицу площади жизнеспособных семян. В большой степени это связанно с влиянием локальных условий местообитания на их прорастание и выживание проростков. Г.Б. Гортинский (1964) указывает, что нижняя граница температуры субстратов, при которой еще возможно прорастание семян ели в экологически допустимые сроки (не >40 дней), находится в пределах 9–11°С. При повышении температуры до 18°С прорастание семян сокращается до 5 дней. Недостаток или избыток влаги и тепла в почве может сократить благоприятный период для прорастания до нескольких дней.

Большая смертность всходов в первые зимние периоды связанна с тем, что из-за позднего появления проростков значительно сокращается период их вегетации. Они не успевают завершить нормальный цикл роста и развития и в первый холодный период наблюдается массовая гибель всходов, в частности по причине морозного выжимания (Карпов и др., 1983; Пугачевский, 1992). Выжимание всходов происходит весной и реже осенью, особенно при образовании кристаллов напочвенного льда при заморозках. Большую роль в элиминации всходов играет опад трав (Абражко, Абражко, 1995). На массиве Иремель под пологом разреженных еловых древостоев развит ярус крупнотравья, который после отмирания толстым слоем покрывает поверхность почвы, что также, несомненно, приводит к гибели молодых всходов.

В связи с произошедшими в последние столетия изменениями климата на Урале (удлинением вегетационного периода (на 3–7 дней), повышением ранних летних (на 0,6–1°С) и зимних (1,5–2,5 °С) температур, увеличением количества твердых осадков) состав и структура ЭВГДР и его высотная позиция претерпели существенные измене-

ния (сместилась вверх до 80–100 м высоты). Но начало, ход и направленность этих изменения в значительной мере зависели от локальных условий местообитаний: экспозиции, крутизны и каменистости склона, водного и термического режима почвы, и как показали наши исследования, от фоновой мощности снежного покрова. Так, на многоснежных местообитаниях Южного Урала, где возраст самых старых (более 400 лет) доминирующих здесь елей, интенсивное формирование древостоев началось одновременной во всех частях ЭВГДР еще в 1830-х и закончилось в 1960-х годах (рис. 5). На Северном Урале, где на подобных участках доминирует также ель (в западной части Тылайско-Конжаковско-Серебрянского массива), этот процесс начался в нижней и средней части экотона в 1850-х и закончился в 1970-х годах, а в верхней части начался в 1920-х и закончился 1980-х годах (рис.7). На экстремально многоснежных и крутых склонах гор Северного Урала (в центральной части упомянутого массива), где древостои почти полностью состоят из березы извилистой, активное возобновление началось в нижней части экотона в 1890-х, в средней – в 1920-х, а в верхней – в 1950-1960-х гг. На Приполярном Урале на многоснежных местообитаниях в нижней части экотона, где сейчас преобладает береза извилистая, первые лиственницы появились еще в начале XVIII века, но, вероятно из-за чрезмерно большой для выживания ее подроста глубины снега, их численность нарастала здесь крайне медленно (рис. 8). Это привело к тому, что с 1920-х по 1970-е годы в данных местообитаниях активно возобновлялась береза, которая более устойчива к механическому воздействию больших толщ снежных масс.

По всему Уралу на среднеснежных местообитаниях первые деревья стали появляться в пределах ЭВГДР еще в начале XVIII в., но активное заселение его нижних частей произошло лишь в 1870–1940 гг. В северных районах Урала, где на подобных участках преобладает лиственница, непродолжительное усиление интенсивности возобновления наблюдалось здесь в конце XVIII и середине XIX веков. В средней части экотона на подобных местообитаниях интенсивное возобновление древесных видов происходило на Южном Урале в 1910–1980-х, на Северном – в 1890–1950-х, на Приполярном – в 1920–1990-х, а на Полярном Урале (по данным С.Г. Шиятова и В.С. Мазепы) – в 1910–1940-х годах. В верхней части экотона, хотя отдельные деревья и начали появляться в конце XIX в., активное проникновение древесных растений в горные тундры началось во второй половине XX века.

На малоснежных местообитаниях Южного Урала первые деревья ели и березы появились в конце XIX в., но существенное увеличение густоты и сомкнутости древостоев началось в нижней части ЭВГДР лишь в 1950-х, в средней – в 1970-х годах, а в верхней части этот процесс еще не начался. На Северном, Приполярном и Полярном Урале, где на подобных участках доминирует лиственница и возраст отдельных деревьев > 400 лет, процессы формирования древостоев протекали аналогичным образом – нижние части экотона стали активно заселяться лишь в 1950–1960-х, средние – в 1970–1980-х годах, а в верхней частях этот процесс еще не начался.

ВЫВОДЫ

1. Средняя высота расположения современной верхней границы (ВГ) редколесий снижается от Южного до Приполярного Урала на 65 м высоты на каждый градус широты, причем на склонах западных хребтов она на 115–120 м ниже, чем на восточных, по причине более сильного влияния на их мезоклимат влажных Атлантических воздуш-

ных масс. На Полярном Урале, где древостои произрастают лишь на восточном макросклоне, снижение составляет 175 м на каждый градус широты, что объясняется усиливающимся влиянием на местный климат холодного арктического воздуха.

2. В связи с значительным сокращением с юга на север вегетационного периода (на 2–3 недели) и понижением зимних температур на 5–8 °С на верхнем пределе произрастания древесной растительности в Уральских горах происходит смена доминантов древостоев: с ели и березы на Южном Урале на березу, ель, лиственницу и кедр на Северном Урале и лиственницу и березу на Приполярном и Полярном Урале.

3. Расстояние (по вертикали) между верхними границами сомкнутых лесов и редин на пологих склонах со средней степенью увлажнения, каменистости и снегонакопления в различных природных провинциях Урала составляет 80–100 м, а между верхними границами редин и отдельных деревьев в тундре – 100–200 м.

4. Средние морфометрические параметры и возраст древесных растений снижается в 2–4 раза (высота от 5–9 до 1,7–3 м) между ВГ сомкнутых лесов и редин.

5. С увеличением высоты н.у.м., особенно при переходе от средней к верхней части ЭВГДР, происходит существенное снижение числа плодоносящих деревьев и продуцируемых ими шишек и жизнеспособных семян, что влияет на крайне малое количество появляющихся проростков выше границы редколесий даже при наличии подходящих для их заселения субстратов.

6. Температура воздуха снижается незначительно (на 0,2-0,9 °С) при переходе от нижней к верхней части ЭВГДР по сравнению с температурой верхних слоев почвы, которая становится существенно ниже на большинстве участков склонов, как в начале лета (на 1,5-3 °С), так и в течение всей зимы (на 3-5 °С).

7. В Уральских горах на средних по крутизне, каменистости, увлажнению и снежности участках склонов с конца XIX по начало XXI в. ВГ древостоев различной сомкнутости сместилась вверх на 40–110 м, что было сопряжено с удлинением вегетационного периода (на 4–7 дней), повышением ранних летних (на 0,6–1 °С) и в целом зимних (1,5–2,5 °С) температур, а также увеличением количества твердых осадков.

8. Во всех природных провинциях Урала в ЭВГДР время появления и массового заселения древесными видами участков склонов в последние столетия напрямую зависит от особенностей формирования на них снежного покрова.

9. Улучшения климатических условий в XX в. на верхнем пределе произрастания древесной растительности на Урале способствовало у многих древесных растений смене стланиковой формы роста на многоствольную и ускорению их темпов роста (особенно у тех, которые появились в последние 50 лет), что обусловило быстрое смыкание крон деревьев и тем самым продвижение ВГ сомкнутых лесов в горы.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) в журналах, входящих в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК:

1. **Моисеев П.А.**, Бартыш А.А., Нагимов З.Я. Изменения климата и динамика древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала// Экология. 2010. № 6. С. 432-443.

2. Григорьев А.А., **Моисеев П.А.**, Нагимов З.Я. Влияние изменения климата на динамику верхней границы древесной растительности в горах Приполярного Урала// Вест. Алт. гос. аграр. ун-та. 2010. №12. С.34-40.

3. Treeline shifts in the Ural mountains affect soil organic matter dynamics/ A. Kammer, F. Hagedorn, I. Shevchenko , J. Leifeld, G. Guggenberger, T. Goryacheva, A. Rigling, **P. Moiseev** // Global Change Biology. 2009. Vol. 15, Issue 6. P. 1570-1583.

4. Expanding forests and changing growth forms of Siberian larch at the Polar Urals treeline during the 20th century/ N. Devi, F. Hagedorn, **P. Moiseev**, H. Bugmann, S. Shiyatov, V. Mazepa, A. Rigling// Global Change Biology. 2008. Vol. 14, Issue 7. P. 1581-1591.

5. Структура и фитомасса березовых древостоев на верхней границе леса в условиях Северного Урала/ А.А. Бартыш, В.И. Рахманов, З.Я. Нагимов, **П.А. Моисеев**, А.А. Григорьев// Вест. Моск. гос. ун-та леса. Лесн. вестн. 2008. №3 (60). С. 61-67.

6. Кошкина Н.Б., **Моисеев П.А.**, Горяева А.В. Возобновление ели сибирской в экотоне верхней границы леса массива Иремель //Экология. 2008. №2. С.93-102.

7. Бабенко Т.С., Нагимов З.Я., **Моисеев П.А.** Особенности хода роста ели сибирской на верхнем пределе ее распространения (Южный Урал, массив Иремель) // Экология. 2008. № 1. С. 65-69.

8. Изменения в составе, структуре и высотном положении мелколесий на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала/ Д.С. Капралов, С.Г. Шиятов, **П.А. Моисеев**, В.В. Фомин // Экология. 2006. №6. С.403-409.

9. Dynamik der alpinen Waldgrenze im sudlichen Ural (Russland)/M. van der Meer, F. Hagedorn, F.H. Schweingruber, A. Rigling, **P.A. Moiseev** // Erde. 135 (2). 2004. S.147-170.

10. Влияние изменений климата на формирование поколений ели сибирской в подгольцовых древостоях Южного Урала/ **П.А. Моисеев**, М. ван дер Меер, А. Риглинг, И.Г. Шевченко // Экология. 2004. № 3. С.163-171.

б) в прочих изданиях:

1. Бабенко Т.С., Нагимов З. Я., **Моисеев П.А.** Закономерности роста деревьев и древостоев ели сибирской в высокогорьях Южного Урала (на примере г. Малый Иремель)/ Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2008. 125 с.

2. **Moiseev P.A.**, Shiyatov S.G. Vegetation dynamics at the treeline ecotone in the Ural highlands, Russia // Ecological Studies. 2003. Vol. 167. P.423-435.

3. Динамика подгольцовых древостоев на склонах Серебрянского Камня (Северный Урал) в последние столетия/ **П.А. Моисеев**, А.А. Бартыш, А.В. Горяева, Н.Б. Кошкина, З.Я. Нагимов, В.А. Галако // Хвойные бореальной зоны. 2008. № 1/2. С. 17-23.

4. Особенности роста и формирования фитомассы древостоев ели в высокогорьях Южного Урала (на примере г. М. Иремель)/ З.Я. Нагимов, Т.С. Бабенко, И.Г. Шевченко, И.В. Рахманов, **П.А. Моисеев** // Хвойные бореальной зоны. 2007. № 4. С. 427-430.

5. Climate change and site-specific treeline ecotones dynamics on the Ural mountains/ **P.A. Moiseev**, F. Hagedorn, S.G. Shiyatov, V.S. Mazepa, N.M. Devi, A.A. Bartyish, A. Rigling / Global Change and the World's Mountains conf. held on 27-30 Sept. 2010, Perth, Scotland, UK. Proce. of intern. conf. Perth. 2010.

6. Горяева А.В., Кошкина Н.Б., **Моисеев П.А.** Изменчивость морфометрических признаков шишек и семян лиственницы сибирской в экотоне верхней границы леса Конжаковского Камня (Северный Урал)// Леса Урала и хозяйство в них / Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург. 2006. Вып. 28. С.104-110.

7. Динамика верхней границы леса на склонах Серебрянского камня (Северный Урал)/ А.А. Бартыш, З.Я. Нагимов, А.С. Акулов, **П.А. Моисеев**, В.А. Галако// Леса

Урала и хозяйство в них/ Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург. 2006. Вып. 28. С.182-193.

8. Капралов Д.С., Фомин В.В., **Моисеев П.А.** Изменение состава древостоев верхней границы леса во второй половине XX века // Леса Урала и хозяйство в них / Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург. 2006. Вып. 28. С.197-205.

9. Бабенко Т.С., Нагимов З.Я., **Моисеев П.А.** Годичный прирост и возрастная структура ели сибирской на пределе ее распространения в горах Южного Урала, гора Малый Иремель // Леса Урала и хозяйство в них / Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург. 2006. Вып. 28. С.178-182.

10. Изменения климата и их влияние на горные экосистемы национального парка «Таганай» за последние столетия / С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа, **П.А. Моисеев**, Е.Ю. Братухина // Влияние изменения климата на экосистемы. М.: Рус.ун-т. 2001. С.16-31.

Подписано в печать 01.03.2011 г. Формат 60x84 1/16
Усл. печ. л. 2,0. Тираж 120 экз. Заказ № 367

Отпечатано в Центре печатных технологий «Копицвет»
620102, г. Екатеринбург, ул. Белореченская, 26