

УДК. 630.181.22. + 630.181.65

## ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ДИНАМИКА ДРЕВОСТОЕВ НА ВЕРХНЕМ ПРЕДЕЛЕ ИХ ПРОИЗРАСТАНИЯ В ГОРАХ СЕВЕРНОГО УРАЛА

© 2010 г. П. А. Моисеев\*, А. А. Баргыш\*\*, З. Я. Нагимов\*\*

\*Институт экологии растений и животных УрО РАН

620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

E-mail: moiseev@ipae.uran.ru

\*\*Уральский государственный лесотехнический университет

620100 Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

Поступила в редакцию 11.03.2010 г.

На различных склонах и высотах Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива (Северный Урал) изучены состав и структура древостоев на верхнем пределе их произрастания. Выявлено, что с середины XIX столетия произошло существенное (около 100 м высоты) поднятие верхнего предела произрастания древостоев различной сомкнутости, хотя их формирование началось еще в конце XVIII в. Безлесные пространства в восточной части массива в конце XVIII – начале XIX вв. стала заселять *Larix sibirica*, в западной в середине XIX в. – *Picea obovata*, в южной в конце XIX в. – *Betula tortuosa*. Анализ метеоданных указывает на потепление и повышение влажности климата в период с конца XIX в. по настоящее время. Благоприятные изменения, обуславливающие экспансию леса, происходили как в летний (удлинение вегетационного периода), так и в зимний (увеличение температуры воздуха и количества осадков) периоды. Наиболее вероятным объяснением выявленных различий в составе древостоев и особенностях их динамики между изученными участками этого горного массива является неодинаковая требовательность древесных видов к мощности снежного покрова и степени промерзания почвы.

**Ключевые слова:** экотон верхней границы древесной растительности, структура древостоев, потепление и повышение влажности климата, снежный покров, температура воздуха и почвы.

В XX в. усиление процесса лесовозобновления и увеличение сомкнутости древостоев на верхнем пределе произрастания древесной растительности были отмечены в различных районах мира (см. обзор: Harsch et al., 2009). На Южном (Моисеев и др., 2004) и Полярном Урале (Шиятов и др., 2005) выявлен факт продвижения выше в горы на 30–80 м границ сомкнутых лесов и редколесий в течение последних 60–80 лет. Д.С.Капралов и др. (2006), проанализировав ландшафтные фотографии и описания древостоев, сделанные в 1956 и 2005 гг., пришли к выводу, что за последние 50 лет произошло поднятие (в среднем на 40 м по высоте) и изменение состава и структуры верхней границы редколесий в горах Северного Урала (Тылайско-Конжаковско-Серебрянский горный массив). Однако до сих пор не вполне понятно, когда начались подобные изменения (50, 100 ... лет назад), что произошло с верхними пределами других категорий древесной растительности (сомкнутых лесов, отдельных деревьев и их групп) и какова в этом роль локальных условий местообитаний и наблюдаемых в последние столетия изменений климата. Для выяснения поставленных вопросов

вдоль высотного градиента в пределах лесотундрового экотона этого горного массива были исследованы состав и структура древостоев и локальные условия в местах их произрастания.

### РАЙОН И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на склонах Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива (59°30'–59°40' с. ш., 59°00'–59°20' в. д.), расположенного в южной части средневысотных североуральских горных хребтов, представляющих собой частично обособленный горный узел на границе Северного и Среднего Урала и сложенный в основном пироксенитами, дунитами и габбро. Климат в районе горного массива холодный и избыточно влажный. Средняя температура января составляет –16.8°C, а июля +17.0°C, годовое количество осадков в горно-таежном поясе 500–700 мм, а в вышележащих поясах увеличивается и достигает 1200 мм. Летний период относительно короткий и умеренно-теплый, зимний – длинный и холодный, с ранним становлением снежного покрова. В связи с вытянутостью массива в



**Рис. 1.** Схема расположения высотных профилей на склонах Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива: 1, 2 – лиственничники; 3 – березняки; 4, 5 – ельники.

широтном направлении на 20 км его западные и восточные склоны значительно отличаются по степени континентальности климата.

Горно-лесной пояс, где преобладают темнохвойные леса с господством ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) и кедра сибирского (*Pinus sibirica* (Rupr.) Mayr.), поднимается до высоты 900 м над ур. м. Выше (до 1000–1050 м) расположен подгольцовый пояс, где произрастают эти же виды. На склонах Серебрянского Камня к таежным доминантам в этом поясе присоединяется лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), образующая редкостойные сообщества. Широко распространенная в горных лесах береза пушистая заменяется здесь близкородственным видом березой извилистой (*Betula tortuosa* Ledeb.). В верхней части гор (выше 1000–1050 м) преобладают горные тундры и крупноглыбовые каменные россыпи (курумы).

Состав и структуру древостоев изучали на 5 высотных профилях, заложенных в период с 2002 по 2007 г. на склонах массива различной экспозиции (рис. 1). Профили располагались в экотоне 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 древесной растительности по П.Л. Горчаковскому и С.Г. Шиятову (1985): *верхняя граница сомкнутых лесов* (сомкну-

тость крон 0.4–0.5); *верхняя граница редколесий* (сомкнутость крон 0.2–0.3) – линия контакта между самыми верхними лесными фитоценозами и примыкающими к ним нелесными (лесными признаются участки растительности, где выражен древесный ярус, высота деревьев превышает высоту кустарникового яруса в 2–3 раза, сомкнутость крон деревьев 0.1 и более, а средний размер участков не менее чем в 5 раз превышает среднюю высоту древесного яруса); *верхняя граница групп деревьев (редин)* (сомкнутость крон 0.05–0.1) – линия, соединяющая кратчайшим путем самые верхние местонахождения небольших групп деревьев, а также появившиеся под их кронами подрост и виды, характерные для нижних ярусов лесных фитоценозов; *верхняя граница отдельных деревьев* (сомкнутость крон менее 0.05) – представляет собой линию, соединяющую кратчайшим путем самые верхние пункты произрастания отдельных деревьев (стволовой, кустовой или стланиковой формы роста) среди горных тундр или лугов.

На каждом профиле фиксировали три высотных уровня: нижний – у верхней границы сомкнутых лесов (880–930 м над ур.м.), средний – у верхней границы редколесий (931–980 м над ур.м.), верхний – на высоте верхней границы редин (980–1040 м над ур.м.). На каждом высотном уровне закладывали от 3 до 6 пробных площадей размером 20 × 20 м. Высота над уровнем моря и географические координаты пробной площади устанавливали с помощью GPS-приемника. На

пробных площадях для каждого отдельного дерева (одностовольной формы роста) или ствола (многоствольной формы роста) определяли следующие характеристики: вид, точное местоположение, форма роста дерева (стволовая, многоствольная, стланиковая), высота, диаметр ствола у основания и на высоте груди, диаметр проекции кроны по двум направлениям и ее протяженность. Описанные в полевых условиях характеристики деревьев и их стволов в последующем занесли в электронные таблицы Microsoft Office Excel 2003 и статистически обрабатывали. Долю отдельных видов деревьев в составе древостоев рассчитывали по сумме площадей сечения их стволов.

Для определения времени появления деревьев или их стволов на всех обследованных площадках у каждого живого дерева диаметром ствола более 3–4 см брали буровой образец древесины на высоте не выше 25 см, а у усохшего выпиливали диск. У каждого второго молодого древесного растения высотой более 0.2 м, но диаметром у основания ствола менее 3–4 см, на уровне корневой шейки брали поперечные диски. В лабораторных условиях каждый буровой образец был закреплен в деревянном держателе, зачищен канцелярским ножом и бритвой. Для повышения контрастности границ между годичными кольцами в верхнюю поверхность зачищенных образцов втирали зубной порошок.

Большинство собранных образцов древесины были датированы стандартными дендрохронологическими методами лишь визуально, так как ширина колец и их изменчивость были достаточными для простого сравнения с данными мастер-хронологий, построенных С.Г. Шиятовым (1986). Для “сомнительных” образцов годичные приросты измеряли на установке LINTAB-III и при помощи программного обеспечения TSAP-3.0 окончательно датировали время формирования самого ближнего к середине годичного кольца.

Если взятые керны не достигали центра ствола, то для определения времени формирования центрального кольца сначала определяли радиус дуги, образуемой самым ранним (ближним к центру) годичным кольцом, для чего сравнивали его с линиями окружностей разного размера, нанесенных на прозрачную пленку. Затем подсчитывали количество годичных колец на самом раннем участке керна, равном вычисленному радиусу, и прибавляли к количеству выявленных и датированных годичных колец на образце.

Поскольку возраст подроста выше 0.2 см и диаметром ниже 3–4 см мы определяли по спилам, взятым на уровне корневой шейки (0 см), то он был достоверным в наибольшей степени. Используя возраст таких деревьев и высоту их стволов, мы рассчитали уравнение регрессии для зависимости между этими показателями, по которому вычис-

лили время достижения каждым обследованным и пробуренным деревом высоты отбора образцов. Добавив это вычисленное значение, мы определили возраст на уровне корневой шейки у каждого дерева диаметром более 3–4 см.

Всего на 5 профилях было заложено 66 пробных площадей общей площадью 2.64 га. Морфометрические показатели определены у 6780 стволов одностовольных и многоствольных деревьев, а для 2828 из них установлен год появления.

Хорошо известно, что почти все древесные виды умеренного пояса обильно плодоносят через определенные интервалы времени (ели и лиственница – 3–6 лет). Поэтому формирование поколений происходит лишь после урожайных лет, а особи, появившиеся в интервале между ними, не участвуют в сложении древостоев, так как из-за малого их количества погибают полностью, не достигнув генеративного возраста (Кошкина и др., 2008). Из-за вероятных ошибок при определении возраста у деревьев с эксцентричной формой роста ствола и существования различий во времени достижения подростом высоты отбора образцов (5–25 см) вычисленный нами возраст можно считать определенным лишь с точностью  $\pm 1-3$  года. Поэтому, взяв за основу точные даты урожайных лет (по данным Л.И. Турмасовой (1991), В.А. Басова (2000) и нашим наблюдениям они были у ели на Северном Урале в 1934, 1937, 1941, 1947, 1952, 1955, 1961, 1964, 1970, 1973, 1977, 1981, 1987, 1991, 1996, 2000, 2004 гг.), мы объединили по пятилетиям количество деревьев, расположенных в интервале  $\pm 2$  года вокруг следующих после них лет. Обильные урожаи, как правило, приурочены к одному году в первом и втором 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 условно использовать их для характеристики численности деревьев, появившихся и выживших к нашему времени после какого-то урожайного года в этом пятилетии (1921–1925, 1916–1920, 1911–1915 и т.д.). Береза извилистая имеет всегда многоствольную форму роста и большинство стволов начинает формироваться значительно позже времени появления самого дерева, в связи с чем бывает трудно выявить ее реальный возраст. Но для формирования лесных сообществ важно, когда происходит разрастание основной части крон деревьев, которые играют главную эдафическую (средообразующую) роль в жизни напочвенного покрова. Поэтому для сравнения с периодами формирования древостоев другими древесными видами мы также объединили количество стволов березы в одностовольных календарных группах по пятилетиям.

С июля 2004 г. по сентябрь 2005 г. для ежечасных измерений температуры воздуха было уста-

**Таблица 1.** Доля отдельных древесных видов в составе древостоев (по сумме площадей сечения стволов) и подроста (по количеству на га), %

Профиль	Высотный уровень														
	нижний					средний					верхний				
	Л	Е	П	К	Б	Л	Е	П	К	Б	Л	Е	П	К	Б
Древостой															
1	69	7	1	6	17	94	—	—	1	5	99	—	—	1	—
2	91	—	—	—	9	95	—	—	—	5	99	—	—	1	—
3	—	—	2	—	98	—	—	10	—	90	—	1	—	—	99
4	—	88	—	—	12	—	89	6	—	5	—	98	2	—	—
5	—	57	2	—	41	—	67	4	—	29	—	99	—	1	—
Подрост															
1	1	28	47	20	4	13	27	18	16	26	34	4	—	59	3
2	1	12	33	26	28	3	27	16	7	47	12	27	1	54	6
3	—	—	17	—	83	—	—	3	1	96	—	4	2	15	79
4	—	44	7	10	39	—	65	20	4	11	—	73	7	20	—
5	—	13	79	5	3	—	18	78	4	—	—	88	12	—	—

Примечание: Л – лиственница, Е – ель, П – пихта, К – кедр (сосна сибирская), Б – береза.

новлено 9 автономных датчиков (ТВ132-20+50 StowAway Tidbit) в кроне деревьев (на высоте 2 м от поверхности земли) в верхней, средней и нижней частях экотона ВГДР на юго-восточном и северном склонах Серебрянского Камня. На основе полученных данных были вычислены средние температуры отдельных месяцев. В марте 2007 г. для изучения снегонакопления на 52 ранее изученных пробных площадях и прилегающих к ним участках измеряли мощность снежного покрова: на средне- и малоснежных местообитаниях при помощи 2-метрового шеста (по 100 на пробную площадь), а на многоснежных – посредством покраски стволов деревьев на уровне снега и последующим измерением летом. Одновременно со снегомерными работами в 48 точках определяли температуру верхнего слоя почвы (около 5 см).

Изменение климатической обстановки за период с 1888 по 2008 г. оценивалось по метеоданным, собранным на метеостанциях Бисер, расположенной в 120 км к юго-западу от района исследований, Чердынь – 180 км к северо-западу и Карпинск – 45 км к востоку.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

**Состав и структура древостоев.** В составе древостоев на всех высотных уровнях профилей 1 и 2 преобладает лиственница (табл. 1). По мере увеличения высоты над уровнем моря уменьшается количество видов в составе древостоев (на нижнем произрастает 5 видов, а на верхнем – только 2), увеличивается участие лиственницы и снижается

доля других видов. На всех высотных уровнях состав подроста резко отличается от состава древостоя. На нижнем уровне преобладает подрост темнохвойных видов (до 95%). Наибольшая доля подроста березы наблюдается на среднем уровне. С увеличением высоты над уровнем моря увеличивается доля подроста лиственницы и кедра. В возобновлении древостоев на верхнем уровне значительна роль лиственницы (34%), но все же здесь доминирует подрост кедра (59%), так как его семена в огромном количестве ежегодно заносятся сюда кедровками, которые прячут их на открытых и малоснежных участках.

Древостои профиля 3 почти полностью состоят из березы. Ее доля на нижнем уровне составляет 98%, на среднем – 90% и на верхнем – 99%. Подрост также в основном представлен березой (на нижнем уровне – 83%, на среднем – 96% и на верхнем – 79%).

В составе древостоев профиля 4 на всех высотных уровнях преобладает ель, а на нижнем уровне также значительна доля березы (до 12%). По мере увеличения высоты над уровнем моря доля ели увеличивается с 88 до 98%. В составе подроста также на всех уровнях преобладает ель. Ее доля повышается с увеличением высоты с 44 до 73%.

На профиле 5 в составе древостоев всех высотных уровней тоже преобладает ель, а на среднем и нижнем уровнях значительно участие березы (29 и 41%). По мере увеличения высоты над уровнем моря доля ели значительно возрастает – с 57 до 99%. В составе подроста доминируют темнохвойные породы, причем на среднем и нижнем

**Таблица 2.** Морфометрические показатели деревьев доминирующих видов и площадные характеристики древостоев на различных высотных уровнях обследованных профилей

Высотный уровень	Высота над ур.м., м	Средние показатели деревьев преобладающих видов			Количество стволов деревьев, шт/га	Сумма площадей проекций крон, м <sup>2</sup> /га
		Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м		
Профиль 1 (лиственничники)						
Верхний	985–1015	56 ± 3.0	4.4 ± 0.2	2.6 ± 0.1	956	1700
Средний	930–950	97 ± 2.5	7.7 ± 0.2	3.6 ± 0.1	1955	6000
Нижний	880–910	191 ± 7.2	15.5 ± 0.5	6.3 ± 0.2	1980	12900
Профиль 2 (лиственничники)						
Верхний	1030–1060	71 ± 4.0	5.7 ± 0.3	2.6 ± 0.1	400	1000
Средний	985–995	89 ± 3.4	11.7 ± 0.5	4.5 ± 0.3	1768	7900
Нижний	940–960	144 ± 8.2	17.6 ± 1.0	5.9 ± 0.3	1989	8100
Профиль 3 (березняки)						
Верхний	1020–1040	46 ± 2.6	2.7 ± 0.1	3.3 ± 0.2	1132	2000
Средний	960–980	66 ± 1.7	3.1 ± 0.1	4.5 ± 0.2	3725	8200
Нижний	920–940	95 ± 3.1	3.9 ± 0.2	7.2 ± 0.4	2009	7300
Профиль 4 (ельники)						
Верхний	1020–1050	81 ± 6.1	6.3 ± 0.3	2.3 ± 0.1	563	1300
Средний	980–1000	136 ± 3.8	9.4 ± 0.3	3.0 ± 0.1	1300	3900
Нижний	920–960	134 ± 2.4	17.5 ± 0.4	5.4 ± 0.1	1744	7600
Профиль 5 (ельники)						
Верхний	1005–1020	44 ± 1.8	3.1 ± 0.2	2.1 ± 0.1	1025	1400
Средний	950–980	89 ± 3.7	8.5 ± 0.5	3.4 ± 0.1	1238	4400
Нижний	900–930	110 ± 4.9	17.0 ± 1.1	7.2 ± 0.4	1157	11000

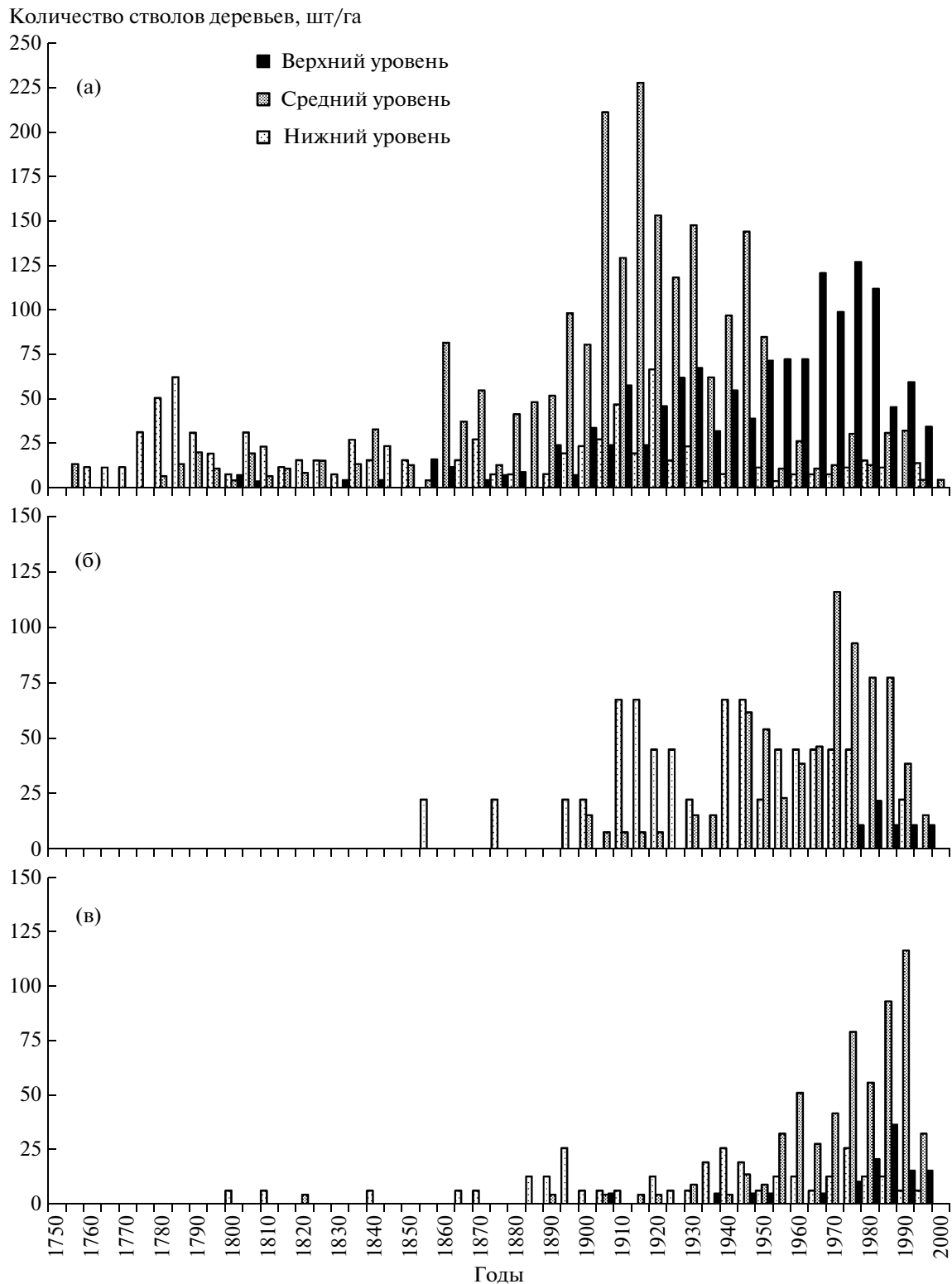
уровнях – пихта (78 и 79%), а на верхнем – ель (88%).

По мере увеличения высоты над уровнем моря значительно изменяются таксационные показатели древостоев (табл. 2). Так, на профиле 1 при переходе от нижнего уровня к верхнему средний возраст уменьшается в 3.4 раза, средний диаметр – в 3.5 раза, средняя высота – в 2.4 раза, густота – в 2.1 раза и сумма проекций крон – в 7.6 раза. Подобные тенденции в изменении таксационных показателей древостоев наблюдаются и на других исследованных профилях.

**Реконструкция динамики древостоев по времени появления деревьев.** Анализ данных по календарному времени появления отдельных деревьев на склонах горы Серебрянский Камень (профили 1 и 2) 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% (рис. 2а). На среднем уровне ее массовое появление происходило в период с 1890 по 1960 г. (80%), а на верхнем – в 1940–1990 гг. (83%). Нижний уровень данных профилей наиболее активно заселялся березой с 1900 по 1935 г. (40%) и с 1945 по 1995 г. (52%)

(см. рис. 2б). Интенсивное возобновление березы на среднем уровне приурочено к 1945–1995 гг. (83%), а произрастающая на верхнем уровне небольшая часть появилась лишь после 1975 г. Ель на нижнем уровне стала заселяться еще в начале XIX в. (см. рис. 2в), но основная ее часть появилась здесь в течение XX столетия. 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 в последние десятилетия, начиная с 1980 г. Начало заселения кедром средней части приходится на первое десятилетие XX в., но значительно увеличилось его присутствие, как и на верхнем уровне, лишь в 1980–2000 гг.

На склонах г. Конжаковский Камень (профиль 3) береза интенсивно заселяла нижний уровень с 1890 по 1940 г. (71% от ныне растущих деревьев),



**Рис. 2.** Распределение деревьев лиственницы (а), березы (б), ели (в) по периодам их появления на склонах г. Серебрянский Камень (профили 1 и 2).



Рис. 3. Распределение деревьев березы по периодам их появления на юго-восточном склоне г. Конжаковский Камень (профиль 3).

средний – с 1910 по 1960 г. (70%), верхний – с 1940 по 2000 г. (89%) (рис. 3).

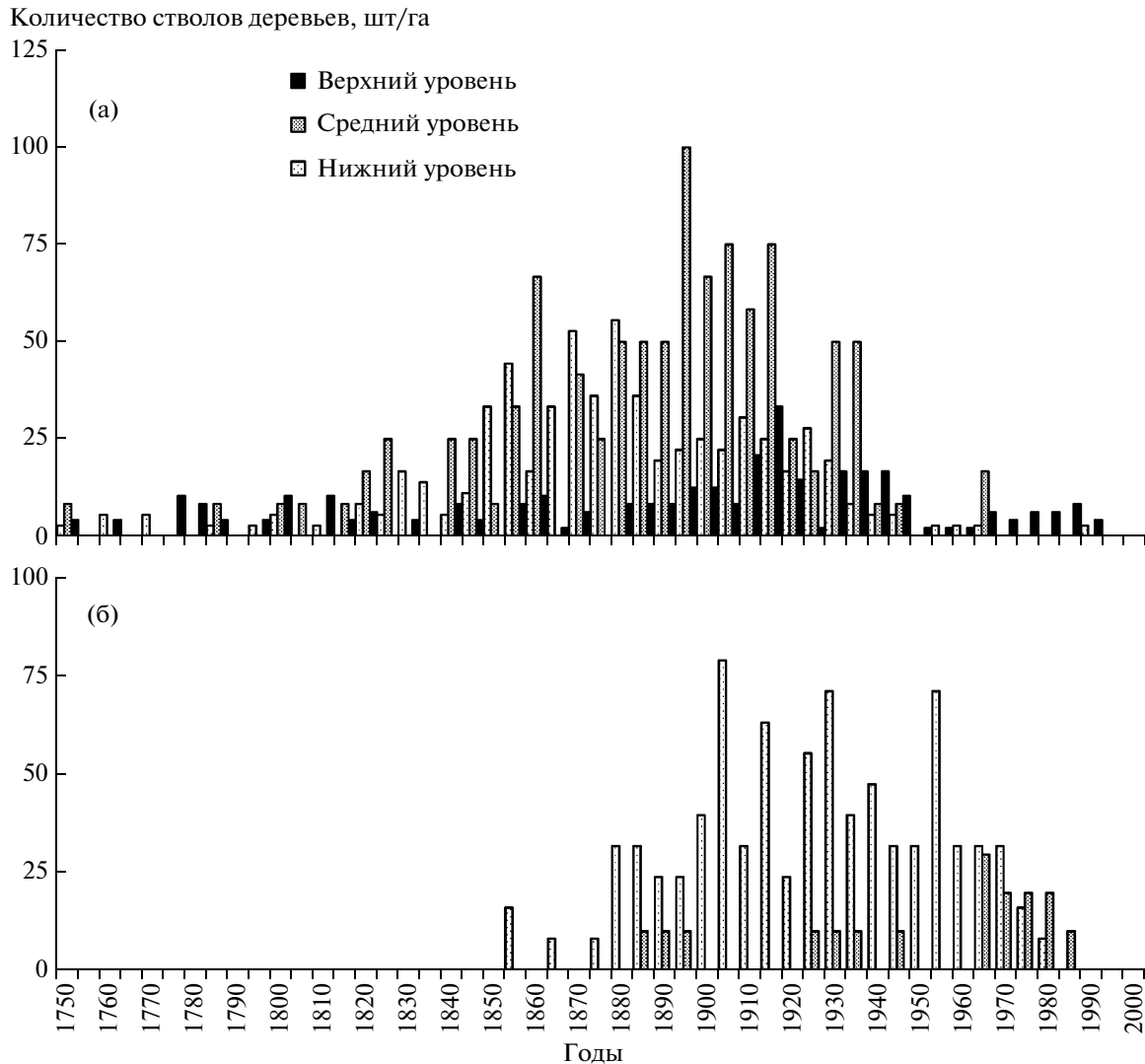
На юго-западном склоне г. Острая Косыва (профиль 4) ель наиболее активно заселяла нижний уровень в 1820–1940 гг. с пиком в 1870-х годах (63% от ныне растущих деревьев), средний – в 1840–1940 гг. с пиком в 1900-х (87%), а верхний – в 1880–1950 гг. с пиком в 1920-х (50%) (см. рис. 4а). Заселение елью северо-западного склона г. Конжаковский Камень (профиль 5) происходило несколько позже, чем на профиле 4: на нижнем уровне – в 1860–1940 гг. (81%), на среднем – 1890–1960 гг. (82%), на верхнем – 1940–1990 гг. (90%) (рис. 5а). Береза на этих профилях в массовом количестве стала появляться в 1880–1960 гг. (рис. 4б и 5б).

**Локальные условия мест произрастаний.** Степень увлажнения почвы на профилях 1 и 2, находящихся в восточной части горного массива, не имеет резких различий по высотным уровням: на нижнем и среднем уровнях она свежая, а на верхнем уровне она становится временно сухой в редкие для этого района летние засухи. Все высотные уровни на профилях незначительно отличаются и по значениям средних месячных температур воздуха (разница 0.3–0.5°C, максимум 0.8°) (см. табл. 3). Глубина снежного покрова мало изменяется при переходе от нижнего уровня к среднему (от 1.6 до 1.5 м) и существенно – при переходе от среднего к верхнему уровню (от 1.5 м до 0.5 м) (см. табл. 4). Такое изменение мощности снежного покрова

объясняется тем, что значительное количество снега сдувается с расположенных выше безлесных пространств и задерживается более сомкнутыми древостоями нижних уровней. Причем на среднем и нижнем уровнях снег задерживается сильнее, чем на верхнем, из-за большей густоты древостоев. С увеличением высоты над уровнем моря также снижается температура верхних слоев почвы в конце зимы. На среднем и нижнем уровнях почва охлаждается всего до  $-0.7^{\circ}\text{C}$ , а на верхнем уже до  $-5.1^{\circ}\text{C}$ , что связано с меньшей защитой ее маломощным здесь снежным покровом.

Профили 4 и 5 (ельники) расположены на западе горного массива и поэтому характеризуются более влажными почвами, чем рассмотренные выше профили, что обусловлено большим количеством выпадающих здесь осадков как в зимний, так и летний периоды. Несмотря на существенный перенос снега с более высоких частей склонов, его глубина значительна на всех высотных уровнях (от 1.15 до 2.0 м). Минимальная зимняя температура верхних слоев почвы по сравнению с восточными профилями выше ( $-0.7...-1.8^{\circ}\text{C}$ ) и также уменьшается с увеличением высоты над уровнем моря.

Профиль 3 располагается в центральной части горного массива. Почва здесь влажная на всех высотных уровнях в связи с большим количеством выпадающих осадков. Снежный покров отличается значительной мощностью (1.7–1.8 м), мало зависящей от высоты над уровнем моря. Почва на



**Рис. 4.** Распределение деревьев ели (а) и березы (б) по периодам их появления на юго-западном склоне г. Острая Косьва (профиль 4).

всех высотных уровнях охлаждается всего до  $-0.8... - 0.7^{\circ}\text{C}$ .

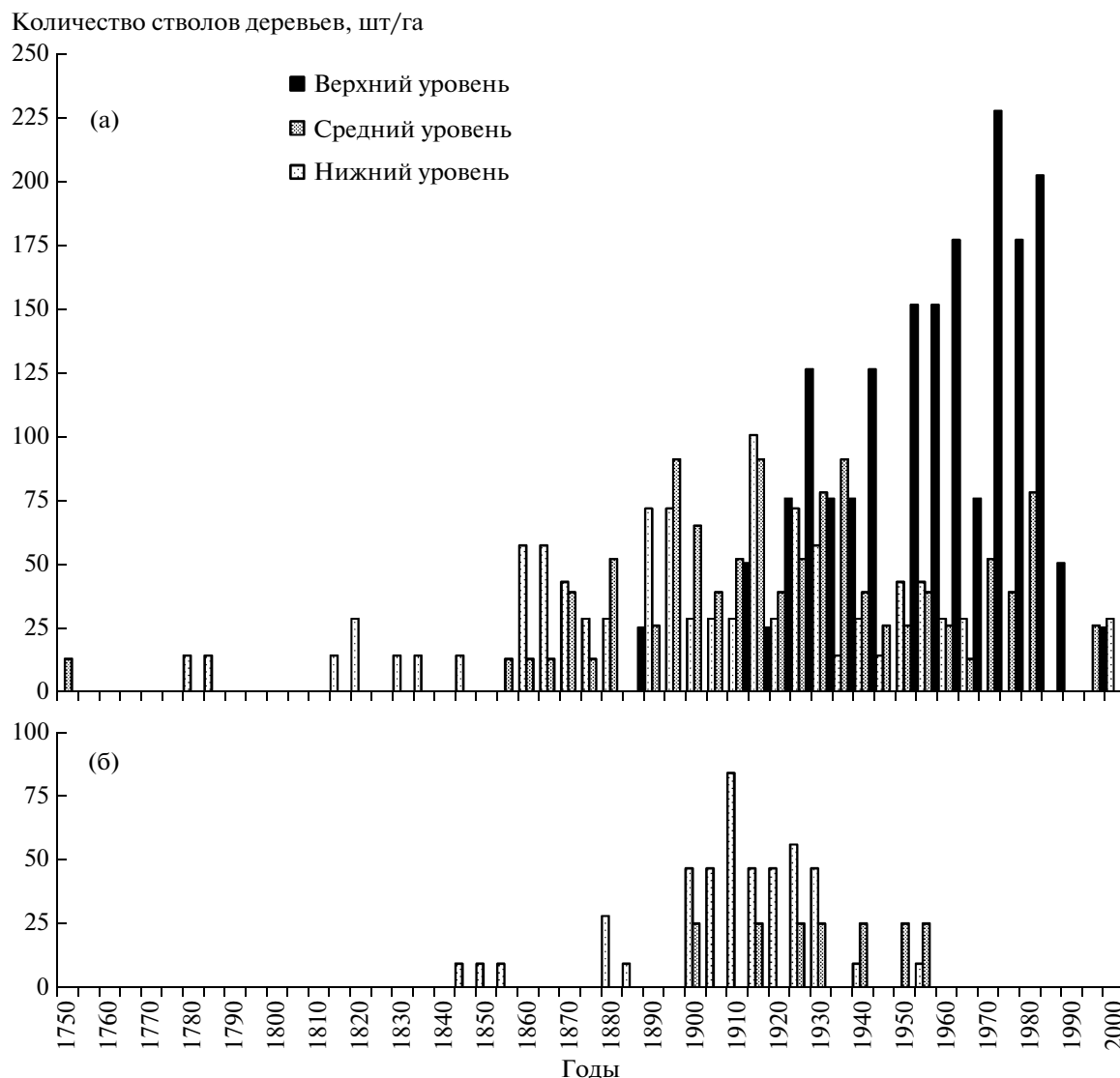
### ОБСУЖДЕНИЕ

Реконструкция динамики древесной растительности по календарному времени появления деревьев показывает, что на исследуемых склонах горного массива в течение последних столетий происходило поднятие всех категорий верхних пределов древесной растительности — как границ сомкнутых лесов, так и границ отдельных групп деревьев. Начало и протекание этого процесса в значительной степени определялись локальными условиями мест произрастания и видом деревьев. Начался он на г. Серебрянский Камень, а пионерной породой выступила лиственница. Причем в настоящее время на северном склоне горы сфор-

мировавшаяся верхняя граница сомкнутых лесов на 50 м ниже, чем на юго-восточном, хотя между данными склонами нет больших различий в периодах заселения. На юго-западном склоне г. Острая Косьва и северо-западном склоне г. Тылайский Камень, где доминирует ель, этот процесс начался позже. Формирование березовых древостоев на юго-восточном склоне г. Конжаковский Камень происходило в последнюю очередь. Следует отметить возрастание роли березы в формировании древостоев в пределах современного лесотундрового экотона по всему горному массиву с конца XIX в. по настоящее время.

С середины XIX в. по начало XXI в. на Северном Урале (по данным метеостанции Карпинск (рис. 6)) средние месячные температуры воздуха в теплый период года изменялись не однонаправленно: в мае—июле они поднялись на  $0.4-1.2^{\circ}\text{C}$ , а





**Рис. 5.** Распределение деревьев ели (а) и березы (б) по периодам их появления на северо-западном склоне г. Тылайский Камень (профиль 5).

в августе, наоборот, уменьшились на  $0.1^{\circ}\text{C}$ , что способствовало как увеличению длительности сезона роста (на 3–6 дней), так и его теплообеспеченности. Количество осадков также выросло, но в основном за счет увеличения их количества в июле–сентябре. Зимой и в начале весны (ноябрь–март) наблюдались более значительные изменения средних месячных температур, которые выросли на  $1.5\text{--}5.1^{\circ}\text{C}$ , что в целом привело к увеличению средней температуры холодного периода года на  $3.5^{\circ}\text{C}$ . Количество твердых осадков, увеличивающееся с середины XIX в., уменьшилось к 1930-м годам, а потом вновь стало возрастать и достигло близких значений к началу XXI в. В итоге зимы стали более теплыми и многоснежными и это способствовало улучшению условий для выживания деревьев в холодный период года,

в первую очередь для крупного подроста, самого уязвимого звена в процессе формирования древостоев.

Известно, что сильные (более 10–15 м/с) ветра высокогорий приводят к значительному морозному иссушению и снежной абразии хвои, почек и побегов, расположенных выше уровня снега. Это вызывает ежегодно гибель от 4 до 10% ассимиляционного аппарата деревьев на верхнем пределе их произрастания (Cairns, 2001). В случае недостаточной глубины снежного покрова почва сильно промерзает, что приводит к морозному пучению (на 5–6 см по П.Ф. Совершаеву (1961)) верхних слоев почвы с образованием трещин и, как следствие, существенному повреждению мелких корней. По данным Г.Л. Тиерней с соавт. (Tierney et al., 2001), понижение температуры

**Таблица 3.** Средняя месячная температура воздуха на разных высотных уровнях профилей 1 и 2 (склоны г. Серебрянский Камень) в 2004–2005 гг., °С

Высотный уровень	2004 г.							
	7	8	9	10	11	12		
Верхний	17.3 ± 0.1	9.3 ± 0.1	4.1 ± 0.1	−4.3 ± 0.1	−9.0 ± 0.1	−13.0 ± 0.1		
Средний	17.2 ± 0.1	9.5 ± 0.1	4.3 ± 0.1	−4.1 ± 0.1	−8.8 ± 0.1	−13.1 ± 0.1		
Нижний	16.9 ± 0.1	9.6 ± 0.1	4.5 ± 0.1	−3.9 ± 0.1	−8.5 ± 0.1	−13.1 ± 0.1		
Высотный уровень	2005 г.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Верхний	−10.2 ± 0.1	−12.8 ± 0.1	−11.8 ± 0.1	−1.2 ± 0.2	9.1 ± 0.2	9.1 ± 0.1	15.1 ± 0.2	11.3 ± 0.1
Средний	−10.3 ± 0.1	−12.8 ± 0.1	−11.4 ± 0.1	−1.2 ± 0.1	9.2 ± 0.2	9.4 ± 0.1	15.2 ± 0.1	11.7 ± 0.1
Нижний	−10.0 ± 0.1	−12.6 ± 0.1	−11.2 ± 0.1	−2.0 ± 0.1	9.1 ± 0.2	9.4 ± 0.1	14.9 ± 0.1	11.7 ± 0.1

**Таблица 4.** Средняя мощность снежного покрова и температура верхнего слоя почвы в марте 2007 г. на исследуемых профилях

Высотный уровень	Профиль					
	1 и 2 (лиственничники)		4 и 5 (ельники)		3 (березняки)	
	Глубина снега, см	Температура верхнего слоя почвы, °С	Глубина снега, см	Температура верхнего слоя почвы, °С	Глубина снега, см	Температура верхнего слоя почвы, °С
Верхний	0.57	−5.1	1.15	−1.8	1.71	−0.8
Средний	1.54	−0.7	1.67	−0.8	1.72	−0.8
Нижний	1.56	−0.7	2.00	−0.6	1.82	−0.7

почвы ниже −4°С и ее промерзание до 25–30 см приводят к увеличению в 2 раза доли отмерших мелких корней (с 14 до 28%) и нарушению симбиотических взаимоотношений с микоризными грибами, что значительно уменьшает количество всасываемых из почвы минеральных веществ (азота, фосфора). Связывание воды в кристаллы льда при сильном понижении температуры почвы снижает зимнюю активность криофильных бактерий (Mikan et al., 2002) и замедляет высвобождение дополнительных к летним порций минеральных веществ. На участках склонов с малой и средней мощностью снега из-за глубокого промерзания почвы возрастают сроки отогревания почв после зимы, что обуславливает более низкие температуры почв в летние месяцы (отличие температур в верхней части от средней на 1.5–3°С) и, как следствие, понижение бактериальной активности и замедление кругооборота минеральных веществ (Kammer et al, 2009). Все это (потери части ассимиляционного аппарата и фракций мелких корней, ухудшение минерального питания) оказывает существенное воздействие на нетто-фотосинтез, запасание питательных веществ и в итоге – на рост и семеношение деревьев.

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 в. 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 важно, 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 под-

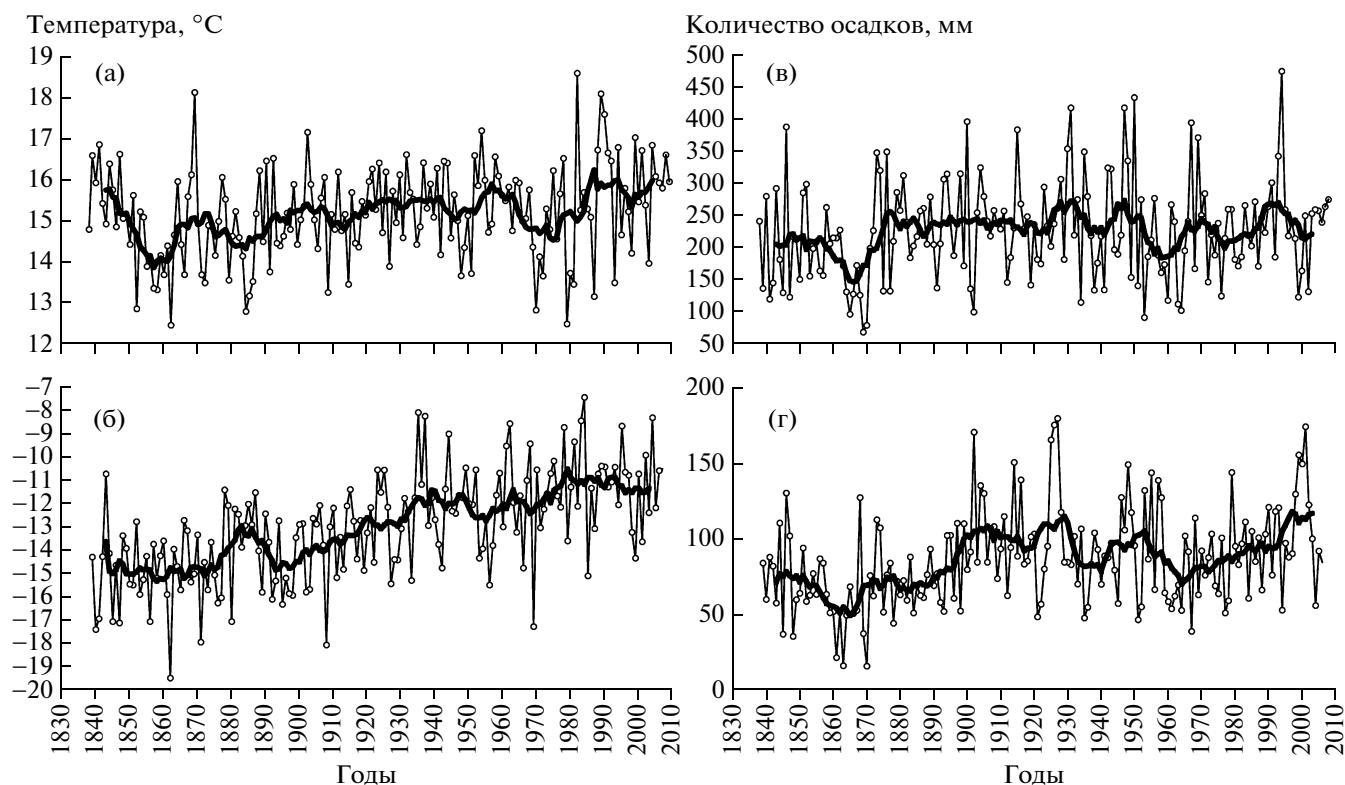


Рис. 6. Температура воздуха июня—августа (а), ноября—марта (б) и количество осадков июня—августа (в), ноября—марта (г) по данным метеостанции Карпинск в период с 1838 по 2008 г. (жирная линия — тренд).

рост успешнее проходит зону метелевого переноса в следующую зиму.

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 (см. табл. 4). Это связано с задержкой большей части воздушных масс, приносимых преобладающими здесь западными ветрами, на склонах и отрогах Тылайского (1470.8 м над ур.м.) и Конжаковского Камня (1569.7 м над ур.м.) — наиболее возвышенной западной и центральной частей массива, при этом восточная часть (г. Серебрянский Камень, 1305.2 м над ур.м.) остается как бы в “аридной тени”.

Известно, что ель является влаголюбивой породой и страдает от промерзания почвы. Поэтому ельники сосредоточены в западной части исследуемого горного массива — в местах с влажной почвой и большой глубиной снега (от 1.15 до 2.0 м), где почва почти не промерзает. Профили 4 и 5 значительно различаются по периодам заселения их лесной растительностью и видовому составу сформировавшихся древостоев. На г. Острая Косьва (профиль 4) заселение елью произошло раньше, чем на г. Тылайский Камень (профиль 5). Это объясняется более благоприятными лесорастительными условиями склона в первом случае. Малое ко-

личество деревьев березы на нижнем уровне профиля 4 по сравнению с нижним уровнем профиля 5, по-видимому, обусловлено большим снегонакоплением, меньшей дренированностью склона и поэтому более высокой влажностью почвы.

На профиле 3 произрастают чистые березовые древостои и почти нет елового подроста, хотя условия для его роста весьма благоприятные (защита березового полога, почвы влажные и не промерзают, много снега). 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, ель погибает. Сходная ситуация описывалась в Японии (Kimiko, 2003). В хвойно-лиственном лесу в зоне перехода между крутым и пологим склонами из-за сползания снежной массы лиственный вид с гибким стволом *Fagus crenata* преобладает над хвойным с ломким стволом *Cryptomeria japonica*. Деревья криптомерии здесь выламываются и выворачиваются с корнем, когда как в других условиях этого не происходит.

Исследуемые лиственничники находятся в восточной части горного массива и приурочены к северному и юго-восточному склонам г. Сереб-

рянский Камень. Здесь более суровые условия произрастания — мало снега, почвы менее влажные, более жесткий температурный режим. Так, глубина снега на верхнем уровне высотных профилей достигает в среднем 30–60 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 сдувания снега сверху и почва промерзает слабо. Береза, как и ель, плохо переносит промерзание почвы. В опытах над сеянцами березы пушистой в Субарктике (Шведская Лапландия) сравнивалось влияние промерзания почвы в двух вариантах — до  $-1.7^{\circ}\text{C}$  и при  $-10.5^{\circ}\text{C}$  (Weih, Karlsson, 2002). Установлено, что низкая зимняя температура почвы может усиливать повреждения 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 сеянцев березы. Следовательно, общее для всего исследуемого района увеличение количества осадков в зимний период способствует укреплению позиций березы по всему горному массиву.

Таким образом, приведенные выше материалы свидетельствуют о том, что с середины 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 благоприятствовали увеличение длины вегетационного периода и уменьшение суровости зимних условий для выживания и роста (более высокая температура воздуха и почвы и большее количество твердых осадков). Различия между склонами в видовом составе древостоев и особенностях экспансии леса объясняются такими локальными условиями мест произрастания, как степень континентальности мезоклимата, мощность снежного покрова, влажность и степень промерзания почвы.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ИНТАС (INTAS-01-0052), РФФИ (05-04-48466, 08-04-00208 и 10-05-00778) и научно-образовательных центров (контракт 02.740.11.0279).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Басов В.А. Динамика урожайности семян основных пород хвойных деревьев // Закономерности полувековой динамики биоты девственной тайги Северного Предуралья. Сыктывкар, 2000. С. 22–30.
- Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 208 с.
- Капралов Д.С., Шиятов С.Г., Моисеев П.А., Фомин В.В. Изменения в составе, структуре и высотном положении мелколесий на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала // Экология. 2006. № 6. С. 403–409.
- Кошкина Н.Б., Моисеев П.А., Горяева А.В. Возобновление ели сибирской в экотоне верхней границы леса массива Ирмель // Экология. 2008. № 2. С. 93–102.
- Моисеев П.А., Ван дер Меер М., Риглинг А., Шевченко И.Г. Влияние изменений климата на формирование поколений ели сибирской в подгольцовых древостоях Южного Урала // Экология. 2004. № 3. С. 1–9. (Рус. J. Ecology. 2004. V. 35, № 3. P. 135–143).
- Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В. Роль снежного покрова в промерзании грунтов // Изв. АН. Серия географ., 2001. № 4. С. 52–57.
- Совершаев П.Ф. О природе выжимания всходов и сеянцев морозом // Лесной журн. 1961. № 3. С. 3–7.
- Турмасова Л.И. Семенная продуктивность ели сибирской в Печоро-Ильчском заповеднике // Труды Коми научного центра УрО АН СССР. Сыктывкар, 1991. № 116. С. 27–37.
- Шиятов С.Г. Возрастная структура и формирование древостоев лиственничных редколесий на верхней границе леса в бассейне реки Соби (Полярный Урал) // География и динамика растительного покрова: Тр. Ин-та биологии. Свердловск, 1965. Вып. 42. С. 81–96.
- Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
- Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале // Экология. 2005. № 2. С. 1–8.
- Cairns D.M. Patterns of winter desiccation in krummholz forms of *Abies lasiocarpa* at treeline sites in Glacier National Park, Montana, USA // Geograf. Ann. Ser. A. Phys Geogr. 2001. V. 83. P. 157–168.
- Harsch M.A., Hulme P.E., McGlone M.S., Dunca R.P. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming // Ecology Letters. 2009. № 12. P. 1040–1049.
- Kammer A., Hagedorn F., Shevchenko I. et al. Upward-shifting treelines change soil organic matter dynamics in the Ural mountains // Global Change Biology. 2009. № 15. P. 1570–1583.
- Kimiko H., Michinori S. Spatial distribution of canopy and subcanopy species along a sloping topography in a cool-temperate conifer-hardwood forest in the snowy region of Japan // Ecol. Res. 2003. № 4. P. 443–454.
- Mikan C.J., Schimel J.P., Doyle A.P. Temperature controls of microbial respiration above and below freezing in arctic tundra soils // Soil Biol. and Biochem. 2002. V. 34. P. 1785–1795.
- Tierney G.L., Fahey T.J., Groffman P.M. et al. Soil freezing alters fine root dynamics in a northern hardwood forest // Biogeochemistry. 2001. V. 56. P. 175–190.
- Weih M., Karlsson S. Low winter soil temperature affects summertime nutrient uptake capacity and growth rate of mountain birch seedlings in the Subarctic, Swedish Lapland // Arct., Antarct., and Alp. Res. 2002. V. 34. № 4. P. 434–439.