

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Башкирский государственный природный заповедник»

На правах рукописи

ГАЙСИН ИЛЬДАР КАДИРОВИЧ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ДРЕВЕСНОЙ
РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЭКОТОНЕ ЛЕС–ГОРНАЯ СТЕПЬ МАССИВА КРАКА
(ЮЖНЫЙ УРАЛ) В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА

06.03.02 - Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и
лесная таксация

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук
П.А. Моисеев

Старосубхангулово – 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	12
1.1 Пределы распространения горных степей и горностепных редколесий.....	16
1.2 Дендроклиматические исследования в горах при условии дефицита влаги.....	19
1.3 Фитомасса девостоев на границе приростания.....	30
1.4 Пожары и их влияние на динамику растительности в горах.....	36
2 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	40
2.1 Климат.....	41
2.2 Геология и рельеф.....	43
2.3 Почвообразующие породы и почвы.....	44
2.4 Гидрография.....	45
2.5 Растительный покров.....	46
3 ПРОГРАММА, ОБЪЕКТ, МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ.....	49
3.1 Программа исследований.....	49
3.2 Объект исследований.....	49
3.3 Методика исследований.....	50
3.3.1 Оценка изменений площади.....	50
3.3.2 Закладка высотных профилей.....	52
3.3.3 Определение возраста деревьев по радиальным кернам древесины.....	53
3.3.4 Измерение глубины снега и запаса влаги в нем.....	55
3.3.5 Измерение влажности мощности и влажности почвенного профиля.....	57
3.3.6 Анализ климатических изменений.....	58
3.3.7 Отбор, рубка и определение фитомассы модельных деревьев.....	59

3.4 Объем работ.....	61
4. СОСТАВ И СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ НА ОСТЕПНЕННЫХ СКЛОНАХ МАССИВА КРАКА.....	63
4.1 Особенности склонов и таксационная характеристика древостоев в экотоне лес – горная степь.....	63
4.2 Относительная высота деревьев на исследуемых профилях.....	68
4.3 Определение календарной даты появления деревьев и подроста, анализ их возрастной структуры.....	71
4.4 Оценка изменения площади горных степей на склонах гор массива Крака.....	84
4.5 Особенности формирования надземной фитомассы деревьев и древостоев ее изменение в связи со смещением границы сомкнутых лесов в экотоне.....	92
5 ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЛОКАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА СКЛОНАХ ГОР КРАКА.....	103
5.1 Особенности метеорологических условий и климатические тренды.....	103
5.2 Особенности распределения снежного покрова на исследуемых профилях.....	108
5.3 Характеристика почв и их влажность по горизонтам на высотных профилях в экотоне лес–горная степь.....	115
5.4 Факторы определяющие возобновление деревьев на остепненных склонах.....	119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	126
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	158

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одной из глобальных экологических проблем в конце XX и в начале XXI веков является проблема изменения климата, которую многие исследователи связывают с увеличением парниковых газов. Это выражается в повышении температур и перестройке режима выпадения осадков в годовом цикле разных районов земли (Ефимова, 1987; Будыко и др., 1989; Кокорин и др., 2004; Изменения климата..., 2014; Bradley et al., 1987 и др.). Факт глобального изменения климата очевиден во всех природных зонах, фиксируется инструментальными измерениями и исследованиями во всем мире. Изучаются не только изменения климата, но и реакции экосистем на эти процессы. Прогноз последствий изменения климата и составление модели реакции биосферы земли является главной задачей ученых (Израэль, 2005; Оценочный доклад..., 2008; Budyko, 1999). Если изменения в температурном режиме наиболее сильно проявляются в высокоширотных областях и в высокогорье, то в аридных районах большей степени проявляется изменения влажности воздуха и почвы (Кукарских, 2009; Кучеров, 2010; Allen et al., 2009; Hellmann, 2016).

В связи с увеличением температуры и изменением режима выпадения осадков происходит трансформация лесных экосистем, которая выражается в изменении структуры и видового состава лесов, продуктивности и накопления фитомассы, а так же сроков наступления фенофаз (Харук и др., 2006; Shiyatov et al., 2007; Aitken et al., 2008; Anenkhonov et al., 2015). Известно, что древесная растительность в экстремальных условиях, чутко реагирует на малейшие перемены климата. В последние десятилетия в различных районах мира отмечено усиление процесса лесовозобновления и продвижение верхней границе леса вверх по склону, а также зарастание степных участков в отдельных лесостепных районах (Сизых и др., 2011; Сергиенко, 2015; Kullman, 2001; Wang et al., 2005; Harsch et al., 2009).

Моделирование изменений климата в будущем, показывает дальнейшее повышение температуры увеличение частоты и силы засух в отдельных районах

мира и возрастание стихийных природных явлений (Изменения климата..., 2014; Aitken et al., 2008). Вызванная синергией засух и экстремального термического режима спровоцировало увеличение динамики вспышки вредителей и болезней леса, что привело в отдельных районах к деградации структуры и падению продуктивности лесов (Петров, 2015; Абакумова и др., 2017; Lucht et al., 2006; Scholze et al., 2006; Lloyd and Bunn, 2007; Dulamsuren, 2010).

Степень разработанности темы исследования. Дендроклиматические исследования на Урале проводились в основном в высокогорьях, где рост деревьев лимитируется температурой. По результатам этих исследований получены длительные реконструкции хода летних температур (Шиятов, 1986; Ваганов и др., 1996, 1998; Моисеев и др., 2004; Фомин, 2008; Манов, Загирова, 2015; Shiyatov, 1995; Briffa et al., 1995; Graybill, Shiyatov, 1997). При этом показано, что роль температурного фактора снижается от Полярного к Южному Уралу (Шиятов, 1986).

В южных районах Урала, в зоне контакта леса со степью, где древесные растения произрастают в условиях дефицита влаги, было выполнено лишь несколько дендроклиматических работ (Кукарских, 2009; Кучеров, 2010; Хорошев и др., 2018). На Южном Урале в районе распространения экстразональных горных степей исследования о реакции древесной растительности на происходящие изменения климата практически не проводились (Волков, 2017).

Изучение процессов, происходящих в переходных зонах (эктонах) между лесными и тундровыми или лесными и степными сообществами (будь это зональные или горные районы), считающихся важнейшими ботанико-географическими и индикаторными рубежами (Станюкович, 1973; Горчаковский, 1975), является одной из важнейших задач при исследовании реакций наземных экосистем на климатические изменения.

Не все участки на стыке различных растительных сообществ могут быть использованы для климатогенной динамики. Например, степи серьезным образом трансформированы, видоизменены или уничтожены в результате человеческой деятельности (распашка под посевы, выпас скота и т.д.), что не позволяет

использовать их для изучения динамики экотона. Но в некоторых районах, не столь удобных для хозяйственного использования, они еще кое-где сохранились (Горчаковский, Золотарева, 2006; Золотарева, Подгаевская, 2012; Подгаевская, Золотарева, 2015). Особенно это касается участков экстразональных горных (петрофитных) степей, которые невозможно использовать под посевы из-за большой крутизны и каменистости склонов, в частности, таких как склоны гор массива Крака на Южном Урале (Миркин, Ямалов, 2010).

Сравнительный анализ современных космических снимков 2015 года и топографических карт показал, что идет зарастание горных степей массива гор Крака древесной растительностью (Моисеев и др., 2018). По литературным данным, такие же процессы происходят на Среднем Урале и в некоторых районах Забайкалья. Ход и направленность этих изменений в значительной мере зависят от локальных условий местообитания (Сизых, Воронин, 2011, 2013; Золотарева, Золотарев, 2016).

На Южном Урале, в районе распространения горных степей, ко всему вышесказанному накладывается пирогенный фактор. Светлохвойные леса в районе исследований, в массиве гор Крака, отличаются высокой горимостью, пожары возникают, за редким исключением, ежегодно. Этому способствует засушливый континентальный климат и «сухие» грозы. Пожары оказывают прямое и косвенное влияние на растительность, отодвигают границу леса, увеличивая площадь безлесных территорий (Мелехов, 1948; Валендик и др., 1979; Горчаковский, Шиятов, 1985).

Несмотря на значительный объем накопленных знаний, остаются пока не вполне ясными причины, определяющие интенсивное возобновление и зарастание экстразональных горных степей массива гор Крака. Исследования пространственно-временной динамики и особенности накопления фитомассы лесной растительности вносят вклад на выявление экологической и средообразующей роли лесов, оценки продуктивности, биоразнообразия и адаптации лесных экосистем на изменения климата.

Исследования автора проводились с 2015 по 2018 гг. в рамках проекта РФФИ-15-05-05014.

Цель исследований. Основная цель работы – оценка современной структуры и надземной фитомассы древостоев, произрастающих в переходной полосе между лесом и горной степью на склонах гор Крака в юго-восточной части Южного Урала, и выявление особенностей их пространственно-временной динамики в связи с изменениями климата и локальных условий местопроизрастания.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проводился сравнительный анализ состава, морфологической и пространственной структуры древостоев, произрастающих в экотоне между лесом и горными степями на склонах массивов гор Крака;
- реконструировалась пространственная и временная динамика древостоев на остепненных склонах на основе анализа их возрастной структуры и изменения границы леса;
- на исследуемых объектах изучались изменения климатических факторов и локальных условий местопроизрастаний древостоев;
- оценивалось влияние микроклиматических и почвенно-грунтовых условий в летний и зимний периоды на распределение древесной растительности на остепненных склонах и экспансию леса на горные степи;
- проводилась оценка надземной фитомассы древостоев.

Научная новизна. Впервые исследована динамика зарастания древесной растительностью экотона лес–горная степь, проведен анализ изменения площади остепненных склонов на склонах массивов Северный, Средний и Южный Крака (предгорья восточного макросклона Южного Урала). Изучена структура древостоя, на основе дендрохронологического анализа установлено календарное время появления деревьев, выявлены наиболее активные периоды возобновления. Определены микроклиматические и почвенно-грунтовые условия отдельных участков горных степей. Получены характеристики основных факторов среды (температура воздуха, режим увлажнения, мощность снегового покрова) по

данным метеорологических станций, при проведении снегомерных работ, измерения влажности почв, а так же при помощи автономных термодатчиков и портативных метеоприборов. Проведена первичная оценка надземной фитомассы древостоев в экотоне остепненных склонов массива гор Крака.

Практическая и теоретическая значимость. На основе полученных данных могут быть разрабатываться модели глобальной реакции биосферы при продолжении тенденции изменения климата. Исследования такого рода являются составной частью комплексного экологического мониторинга природной среды и могут быть использованы при выявлении связей феноявлений с климатическими характеристиками, оценке потенциала продуктивности и биологического разнообразия, в лесоводстве и лесоведении.

Методология и методы исследования. В основу исследований положены общепринятые, апробированные методики, которые широко применяются ведущими лабораториями страны при изучении древесных растений на пограничной полосе (экотоне) в горах. Анализ изменения площади горных степей проведен на основе современных космоснимков и топографических карт прошлых лет и картографических материалов лесоустройства различного времени создания. Оценка изменения климата и выявления локальных условий среды базировалось на анализе метеоданных района исследования, а также полевого инструментального обследования. Методологической базой для изучения фитомассы послужили методика, разработанная В.А Усольцевым и З.Я. Нагимовым.

Положения, выносимые на защиту:

- в результате зарастания древесной растительностью общая площадь горных степей в юго-восточной части Южного Урала (массив гор Крака) существенно сократилась в последние десятилетия.

- экспансия и продвижение границы сомкнутых лесов на территорию горных степей происходит в большинстве районов массива гор Крака, кроме тех, где наблюдается активная хозяйственная деятельность (выпас скота, рубки леса и др.) или они подвергались влиянию лесных пожаров.

- уменьшение площади горных степей вследствие облесения на значительной территории обусловлено общей причиной – изменением климата.

- характер и скорость заселения древесной растительностью ранее безлесных территорий зависят от размеров «остепненных» участков, локальных микроклиматических, орографических и почвенно-грунтовых условий местопроизрастания.

Обоснованность и достоверность результатов исследования. Обеспечивается анализом достаточного по объему экспериментального материала, применением общенаучных методов, комплексным подходом в получении информации о состоянии и структуре древесных растений в пределах экотона, использованием современных методов обработки, анализа и оценки достоверности данных.

Объем выполненных работ. Для более детального изучения пространственно-временной динамики древесной растительности на различных высотных уровнях в переходной полосе лес–горная степь летом 2015 и 2019 гг. были заложены серии пробных площадей (высотные профили) на склонах гор массивов Северный и Южный Крака, не подвергавшихся пожарам в последние 80-100 лет. На профилях на верхней границе редин были заложены 8 полигонов размером 1-4 га, а на верхней границе редколесий и сомкнутых лесов – 42 пробные площади размером 20×20 м. Морфометрические показатели и возраст определены у более 2500 деревьев и единиц подроста, проведено измерение влажности почвы по горизонтам, ежегодно проводились снегомерные работы. Для выявления особенностей накопления фитомассы срублены 16 модельных деревьев сосны и 12 - лиственницы.

Апробация работы. Основные теоретические положения и практические результаты исследований представлялись и обсуждались: на VII и VIII Всероссийских научно-практических конференциях «Устойчивое развитие территорий: теория и практика» (Сибай, 2015, 2016); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященный 100-летию заповедной системы России и Баргузинского государственного природного

биосферного заповедника, Году ООПТ и Году экологии (Улан-Удэ, 2017); Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы Южного Урала и пути их решения» (Сибай, 2017); IX Международной научно-практической конференции «Экология и природопользование: прикладные аспекты» (Уфа, 2019); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы теории, методологии и практики научной деятельности» (Киров, 2020); VII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности» (Сочи, 2020); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 110-летию биологического образования в Республике Башкортостан, 90-летию Башкирского государственного заповедника и 40-летию Южно-Уральского государственного природного заповедника «Актуальные вопросы охраны биоразнообразия на заповедных территориях» (Уфа, 2020).

Публикации. Основные положения исследований по теме диссертации отражены в 12 печатных работах. В рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК – 3 статьи. В т.ч. 2 статьи в журналах, рекомендованных по специальности 06.03.02 (биологические науки). 9 печатных работ – в сборниках материалов научно-практических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы 279 источников; иллюстрирована 31 рисунками и 7 таблицами, имеет 1 приложение. Общий объем диссертации – 159 страниц.

Благодарности. В проведении полевых работ, аналитических исследований, в сборе данных, в их анализе, обработке и систематизации принимали участие сотрудники лаборатории дендрохронологии и геоинформационных технологий Института экологии растений и животных УрО РАН г. Екатеринбург М.О. Бубнов, А.А. Григорьев, В.В. Кукарских, О.О. Моисеева. Оказывали содействие и поддержку администрация и сотрудники ФГБУ «Башкирский государственный природный заповедник». Большая помощь в экспедиционных исследованиях и в обработке материалов была оказана

студентами УрФУ А.А. Петровой и И.И. Рияновой. Всем им автор выражает свою глубокую благодарность. Отдельная благодарность соавторам по публикациям. Выполнение работ было бы невозможно без всесторонней помощи своей семьи и родителей. Особая признательность Т.В. Жирновой и Г.С. Гайсину за ценные советы и постоянный интерес к работе.

Выражаю глубочайшую благодарность своему научному руководителю П.А. Моисееву и его семье за всестороннюю помощь и конструктивные замечания в ходе подготовки диссертации.

Личный вклад. Сбор значительной части материала в полевых условиях и выполнения всех основополагающих задач, решаемых в рамках диссертационной работы: обобщение, интерпретация и подготовка текста, лабораторный анализ некоторых образцов древесины выполнены лично автором. Автором проведена статистическая обработка, разработаны соответствующие уравнения и таблицы, сформулированы выводы и предложения. Автору принадлежит изучение и анализ литературы. Полевые исследования проводились с 2016 по 2020 год.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В начале прошлого столетия обратили внимание на изменение климата, его заметное влияние на различные экосистемы, в том числе и лесные сообщества. Реакцию экосистем на эти изменения изучали многие исследователи и посвящено много литературы (Игошина, 1931; Шиятов, 1983, 2009; Шиятов и др., 1992, 2005; Hustich, 1958; Franklin et al, 1971; LaMarche, 1974, 1975; Gorchakowsky, Shiyatov, 1978; Jakubos, Romme, 1993; Taylor, 1995; Woodward et.al., 1995; Rochefort, Peterson, 1996; Hessler, Baker, 1997; Kullman, 1997, 2001, 2007; Lloyd and Graumlich, 1997; Allen 1998; Korner, 1998, 2003; Lloyd, 2005; Wang et al., 2005; Holtmeier, Broil, 2005, 2007; Kullman, Allen et al., 2009; Oberg, 2009; Gottfried et al., 2012).

Исследование изменения климата активизировались в конце XX начале XXI веков (Ваганов, Шиятов, 1998; Борзенкова, 1999; Будыко и др., 1999; Груза и др., 2001; Коломыц, 2003, 2008; Моисеев и др., 2004; Израэль, 2005; Харук и др., 2008; Аненхонов, 2012; 2014; Кокорин и др., 2013; Замолодчиков и др., 2015; Сизых, 2015; и др.).

Трансформация и изменение границ древесной растительности в результате климатических перемен наблюдается в горах Северной Америки (Amos-Binks et al., 2010; Barger et al., 2011), Азии (Baker and Moseley, 2007; Dulamsuren et al., 2010, 2012) и Европы (Lenoir et al., 2008; Oberhuber et al., 2011). В частности, наблюдается поднятие высотной границы распространения лесов в горах Скандинавии (Kullman, 1981; Kullman, Oberg, 2009), Сибири (Моисеев, 2002; Kharuk et al., 2009; Петров и др., 2015) и на Кавказе (Акатов, 2010). Отмечается, что климатические изменения вызывают сдвиг границ природных зон, нарушение фенологических фаз развития растений, увеличение производительности и перемены направлений сукцессий лесных фитоценозов в высоких широтах и высокогорьях.

Аналогичные выводы сделаны исследованиями на Урале (Шиятов, 1983, 2009; Шиятов и др., 2002, 2005, 2007; Моисеев и др., 2004, 2008, 2010; Капралов и др., 2006, 2007; Шиятов, Мазепа, 2007; Мазепа, Дэви, 2008; Структура и

фитомасса..., 2008; Гайсин, 2017; Моисеев и др., 2018, Гайсин и др., 2019; Григорьев и др., 2019; Shiyatov et al., 2001; Shiyatov, Tchekhlov, 2001; Moiseev, Shiyatov, 2003; Kammer et al., 2009). Причем, все авторы выше перечисленных работ наблюдаемые изменения в структуре древесной растительности связывают непосредственно с улучшением климатических условий. В частности, на Южном Урале были выявлены периоды многочисленного появления деревьев, связанное с повышением температуры, а также с периодами увеличения осадков и мощности снежного покрова (Моисеев и др. 2004, 2016, 2018; Григорьев и др., 2019; Гайсин и др., 2020).

При анализе многолетних данных метеорологических станций расположенных в районе исследования было установлено, что климатический режим с 1935 по 2004 гг. изменился, о чем свидетельствует достоверное увеличение среднегодовой температуры, среднемесячной температуры летних месяцев, годовой суммы осадков, среднемесячных сумм осадков осенних и зимних месяцев, что привело к сдвигу фенологических ритмов биологических организмов (Волков и др., 2001) и экспансии древесных растений на горные степи массива гор Крака (Волков, 2017; Моисеев и др., 2018; Гайсин и др., 2020). На Южном Урале изучение влияния климата на сезонное развитие животных и растений проводили сотрудники Башкирского заповедника С.В. Кириков и К.П. Филонов. С.В. Кириков (1963, 1966) главной причиной отступления ели к северу, а широколиственных пород к югу называл воздействие человека, и считал возможным возникновение антропогенной аридизации климата. В работе К.П. Филонова (1963) выявлены температурные пороги, после достижения, которых в природном комплексе заповедника начинаются согласованные сезонные изменения, их годовая последовательность которых описывается как «Календарь природы».

По изменению климата проводятся Всемирные конференции и работают международные организации результаты исследований, которых не раз освещались в литературе (Изменение климата..., 2007, 2014 и др.).

Прогнозируемое среднее годовое увеличение осадков оценивается от $11,3 \pm 3,1\%$ до $17,7 \pm 3,7\%$ (Оценочный доклад..., 2008; Кокорин и др., 2013). Во всех сценариях осадки увеличиваются зимой. Небольшое увеличение осадков летом предполагается в северных и восточных регионах РФ, а уменьшение – на юго-западе, центральных и южных континентальных районах азиатской части. Ни в одном сценарии среднее летнее увеличение осадков не предполагается выше 8%. Поэтому следует ожидать увеличение сухости климата на большей части лесной зоны. Возрастающая нестабильность погоды будет усугублять водный стресс деревьев (Швиденко, Щепашенко, 2013).

Н.М. Чебакова и Е.И. Парфенова выявили потепление климата за последние полвека в Центральной Сибири. Где, зимы на севере стали на 2-3 °С теплее, а на юге-на 1-2 °С. Летом температура воздуха повысилась на 1 °С на севере и на 1-2 °С на юге. Сумма осадков увеличилась на 10% в северных и средних, уменьшаясь на 10-20% в южных широтах, что способствовало снижению увлажнения в более влагодефицитных районах. Изменения климата, антропогенное воздействие и вызванные ими увеличение пожаров и вспышки вредителей приводят к смещению лесных и лесостепных сообществ степными, а также преимуществу светлохвойных деревьев (*Larix spp.* и *Pinus sylvestris* L.) над темнохвойными в сухом климате из-за их устойчивости их к водному стрессу и лесным пожарам (Tchebakova, Parfenova, 2012).

Отмечается также что, леса в засушливых районах подвержены риску снижения производительности деревьев и увеличения усыхания древостоев от сочетания потепления климата и засухи. Такие явления наблюдались во внутренней Азии (Dulamsuren et al., 2010; Liu et al., 2012), в США (Allen, 2007; McDowell et al., 2008), в севере (Dobbertin, Rigling, 2006) и западе (Breda et al., 2006) Европы, и в России (Лямцев, Малахова, 2013; Сингатуллин, 2017; Kharuk et al., 2009, 2013 и др.).

В России огромный вклад, в исследовании верхней границы горных лесов и ее динамики и структуры внесли П.Л. Горчаковский и С.Г. Шиятов. Продвижение растительности в горы они связывают непосредственно с потеплением климата

(Горчаковский, 1955). С.Г. Шиятов (1973, 1986) отмечал, что горные экосистемы весьма чувствительны к климатическим переменам, где создаются экстремальные гидротермические, ветровые и др. условия, поэтому растительные сообщества находятся в условиях близких к предельным для их существования. Где глубина проявления комплекса факторов или одного ведущего отражается в реакции растительности, здесь их незначительные изменения вызывают сдвиги в структуре и динамике сложившихся экосистем. Установлено, что в горах и высоких широтах недостаток тепла и продолжительности вегетационного сезона является основным лимитирующим фактором (Шиятов, 1986; Ваганов и др., 1996; Хантемиров, Шиятов, 1999). А в аридных и семиаридных районах рост древесных растений ограничен количеством доступной влаги (Кукарских, 2009; Замолотчиков, 2011; Schweingruber, 1996).

Дендроклиматические исследования в районах с влагодефицитным климатом проводили ряд исследователей (Андреев и др., 2001; Матвеев, 2003; Кукарских, 2009; Schulman, 1956; Linderholm et al., 2004; Wang et al., 2005; Guarin, Taylor, 2005; Allen et al., 2009; Xu et al., 2017 и др.). По их мнению, на величину годового прироста деревьев определяющее значение имеет влагообеспеченность, которая зависит главным образом, от ее прихода в виде атмосферных осадков и ее расхода в процессе эвапотранспирации, которые зависят от температуры воздуха, ветровой особенности, склоновых аспектов и эдафических условий.

На Южном Урале недостаточная обеспеченность влагой наиболее выражена в районе распространения экстразональных горных степей, приуроченных к крутым склонам гор южных экспозиций, поверхность которых бывает местами крайне каменистая с нередкими выходами скальных обнажений. Мелкоземистый слой почвы здесь маломощен и подвержен эрозии. Поверхность в летние дни сильно нагревается и иссушается. Петрофитные горные степи в силу каменистости, большой крутизны и отдаленности от промышленных центров (в отличие от зональных степей), практически не подвержены антропогенному

воздействию, что позволяет использовать их для изучения климатогенной динамики (Ямалов, Баянов, 2012; Золотарева, Золотарев, 2016).

1.1 Пределы распространения горных степей и горностепных редколесий

Основным фактором формирования ландшафтов горных систем является высотная поясность, под которой понимается закономерная смена климата, растительности и почв с высотой местности. Определяющей чертой высотной поясности является изменение климатических условий. Высотно-поясная дифференциация растительности гор в первую очередь обусловлена их широтным положением. Кроме того, она зависит от протяженности горной системы, ее высоты, барьерной роли, крутизны и экспозиции склонов и пр. Наличие высотно-поясной дифференциации растительности – главная закономерность структуры растительности гор, не имеющая аналогов на равнине. Степная высотная поясность выражена в горных странах не в виде сплошной зоны, а в виде изолированных островов. В.Б. Сочава (1978), в свою очередь, еще выделял региональную зональность, как проявление особенностей природной среды внутри физико-географических областей, где природные зоны дифференцируются по критериям тепло- и влагообеспеченности.

Территории распространения горных степей и горностепных редколесий изучены достаточно хорошо. Из анализа литературы можно сделать вывод о том, что представление о горной степи и лесостепи, в основном, основывается на особенностях их растительного покрова, как закономерное чередование лесных и степных фитоценозов в пределах одной высотной ступени на склонах разных экспозиций, отличающихся по режиму инсоляции и увлажнения (Огуреева, 1980; Макунина, 2014).

Горные степи и остепенённые луга занимают значительные площади в большинстве горных систем южных районов Евразии: на Урале, в основном на Южном и небольшие участки на Среднем; на Алтае, в западной ее части; в

Байкальском регионе; в северо-восточном Казахстане; в Джунгарском Алатау; в Северном, Центральном и Западном Тянь-Шане; в северных хребтах Памиро-Алтая; на Кавказе (Растительный покров СССР, 1956). В разных районах горностепные участки имеют свои местные особенности. Степные ландшафты представлены островными участками - в зонах лесостепи и полупустыни, которые играют роль своеобразных экотонов между собственно степью и лесом, степью и полупустыней (Чибилёв, 1990). Они приурочены или к внутригорным котловинам, или выходят на горные плато. Практически во всех вышеперечисленных горных системах встречаются луговые (вместе с субальпийскими остепененными лугами) настоящие и сухие степи. Кроме того, на Большом и Малом Кавказе, а также Западном Тянь-Шане и Памиро-Алтае распространены субтропические степи. Последние, по мнению многих исследователей, представляют собой вторичные образования на месте сведенных субтропических полувлажных или полусухих лесов, а также редколесий. Характерно, что на Тянь-Шане степной пояс расположен не только ниже лесного, но также и в альпийском поясе (Лавренко и др., 1991).

На Кавказе, Тянь-Шане и на хребтах системы Памиро-Алтая высокогорные степи занимают пояс от 1200-1300 до 1800-2000 м, а иногда поднимаются и выше до 3500 м над уровнем моря. Степи подвергались интенсивной пастбищной нагрузке, так что земли здесь в той или иной степени эродированы. Значительная часть горных степей распахана или используется как сенокосы, почвы нередко скелетные и маломощные.

В Монгольском Алтае и Казахстане горные степи расположены на высоте 1100-1300 м над уровнем моря окаймлены лесом, по окраине развиты заросли невысоких кустарников, иногда степные сообщества граничат с высокогорными лугами (Растительный покров СССР, 1956; Лавренко и др., 1991). Сплошной пояс горных степей поднимается в западных предгорьях Алтая до высоты 350-600 м, на Южном Алтае и в сухом Южном Забайкалье верхний предел его распространения достигает местами даже до 1000 м. Кроме того, отдельные изолированные «острова» горных и высокогорных степей занимают сухие

межгорные котловины Алтая, Саян и Забайкалья. Там они поднимаются местами до высоты 1500-2000 м над уровнем моря или продвигаются далеко на север (Куминова, 1960; Растительный покров ..., 1976, 1985; Лавренко, 1980; Огуреева, 1980; Макунина, Мальцева, 2002; Намзалов, Басхаева, 2006; Малышева, Михайловский, 2012; Макунина, 2014).

Урал, протянувшийся в меридиальном направлении более чем 2000 км, является не только важным географическим рубежом, разделяя Европу и Азию, но также и фитогеографическим, соединяющим восточноевропейские и западносибирские региональные комплексы. Уральские горы вносят нарушения в картину зональности, характерную для равнинных территорий. В горной части аналоги растительных зон смещаются на юг (горные тундры на Южном Урале, леса в зоне степи). Поскольку высота уральских гор относительно невелика, высота в среднем до 1000 м, а отдельных вершин 1900-1500 м над ур. моря, он имеет ограниченное количество высотных поясов (Урал и Предуралье, 1968).

Горностепной пояс, аналогичный степной зоне равнин, распространен главным образом на восточном макросклоне Южного Урала, где выпадает значительно меньшее количество осадков, чем на западном склоне, что объясняется влиянием климатической тени Уральских гор. Кроме того, горные степи приурочены к выходам основных (щелочных) горных пород, создающим для растений условия «физиологической сухости». Район распространения петрофитных горных степей начинается на Среднем Урале в Свердловской области с небольших участков – размером менее 1 га. Далее он тянется на юго-запад узкой полосой по предгорьям Южного Урала, через горные районы Челябинской области. А в самой южной части района распространения включают дубравные лесостепи на хребте Шайтан-Тау, которые представляют компонент зональной лесостепи. В горных районах на территории Республики Башкортостан петрофитные горные степи и остепененные участки в сумме занимают значительные территории (10-15%). Расположены на высоте 500-1000 м над ур. моря (Лавренко, 1980; Миркин, Ямалов, 2010; Ямалов, 2011; Князев и др., 2012).

В условиях аридных экстраконтинентальных гор, где лимитированность влаги усугубляется высокими летними и экстремально низкими зимними температурами, реакции растений на гидротермические режимы среды становятся особенно выраженными и подвижными. Это обуславливает, с одной стороны, резкую изменчивость во времени фитоценологических признаков растительных сообществ, с другой – особо сложный и динамичный рисунок растительного покрова. Который, определяется как общими (воздействие климатических, орографических и др. факторов), так и закономерностями более частными или случайными (антропогенные, пожары и др.) (Урал и Предуралье, 1968; Огурева, 1980). Изучение растительных сообществ в зоне контакта различных сред - в условиях зональности, высотной поясности и экстразональности «лес – экстразональная степь» и зональной лесостепи позволяет выявить особенности структурно-динамической организации и пространственно-временной изменчивости растительности для физико-географических условий конкретной территории на фоне происходящих климатических изменений.

В условиях глобальных изменений среды все более актуальны комплексные исследования биоты с учетом ее прошлого состояния на фоне настоящего при прогнозе будущего.

1.2. Дендроклиматические исследования в горах в условиях дефицита влаги

Первые упоминания о том, что рост древесных растений подчиняется климату, принадлежат Леонардо да Винчи, который указывал, что узкие годовые кольца образуются при сухом вегетационном сезоне, а широкое – во влажное лето. На связь ширины годовых колец и климата указывал и К. Линней. Но только в 19 веке появились первые научные работы о влиянии климата на годичный прирост деревьев. В 1859 году вышла работа американца Д. Клюхера, в 1880 г. - датского астронома Д. Кептейн, в России - профессора Одесского университета Ф.Н. Шведова "Дерево как летопись засух". Основоположником

дендрохронологии по праву считается американский астроном А. Дуглас, который установил зависимость ширины годовых колец деревьев от количества атмосферных осадков. Он сформулировал и применил на практике основные принципы и методы дендрохронологии (Колчин, 1977; Румянцев, 2009).

Дендроклиматические работы в начале преследовали, чисто лесоводственные цели, стремились выяснить, влияние погоды на производительность деревьев. Позже исследования изменчивости годовых колец деревьев были направлены на реконструкцию климата. Использование данного метода перспективно в пограничной полосе леса со степными или другими сообществами, где растительные сообщества очень чувствительны к переменам условий среды.

Так, Х. Фриттс с соавт. (Fritts et al., 1965) на основе анализа полутора тысячелетней хронологии по ложецуге (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) установили связь прироста с осадками и температурой весенних месяцев и с метеоусловиями предыдущего сезона роста. Они показали, что с 512 по 1673 гг. в горах национального парка Меза Верде наблюдалось несколько циклов засушливых периодов, в которых происходили существенные, понижения радиального прироста деревьев.

Исследуя североамериканские белые ели было выявлено, что рост деревьев контролируется как влажностью почвы, так и температурой воздуха, вызванная температурой засуха может ограничить рост дерева при дефицита влаги в почве, при достаточном увлажнении почвы высокие температуры воздуха практически не влияют на производительность деревьев (Barber et al., 2000).

Изучая динамику экосистем в горах на линии разграничения леса и альпийского пояса национального парка Секвойя, США Э.Г. Банн с соавт. (Bunn et al., 2005) получили цифровую модель рельефа для выявления влияния неоднородности ландшафта на содержание влаги в почве. Выяснили, что паттерны с влажными участками имеют более высокую корреляцию с температурой, в то время как сухие участки лучше коррелируют с атмосферными

осадками. На структуру ширины годичных колец также влияют биофизические параметры деревьев.

В национальном парке Йосемити, расположенного в горах Сьерра-Невада, США при изучении влияния засухи и рельефа местности на смертность деревьев, были выявлены периоды высокой гибели деревьев в зависимости от увлажненности почв, экспозиции и высоты снежного покрова (Guarin, Taylor, 2005). Обнаружено, что периоды усыхания деревьев отрицательно коррелируют с годовым и сезонным индексом засушливости и апрельской глубиной снежного покрова, в годы со снежным покровом и индексом засушливости ниже нормы погибло больше деревьев. Отчетливые корреляционные связи между гибелью деревьев и засухой были выявлены только для многолетних периодов (2-5 лет). Установлено количество погибших деревьев было выше на северных склонах, чем на южных.

Б. Джекубос и В. Ромме (Jakubos, Romme, 1993) выявили достоверную связь интенсивности возобновления сосны (*Pinus contorta* Louglas) на различных по увлажненности субальпийских лугах национального парка Йеллоустон с повышением температуры и количеством осадков. Для сухих участков степень связи выше ($R=0,66$) с температурой и ($R=0,57$) с осадками летних месяцев, а влажных участков чуть ниже – 0,65 и 0,56 соответственно. По их мнению, для успешного возобновления урожайные годы должны совпадать с благоприятным периодом для всхода и роста древесных растений, для максимального внедрения их в субальпийские луга. Поэтому периодичность семяношения является важным фактором в успешности возобновления хвойных насаждений. Также авторы считают, что важную роль для возобновления играют локальные условия, так например, у кромки леса условия лучше во время засух, так как здесь накапливается больше снега и как следствие больше влаги в почве.

Р. Шустер и В. Оберхубер (Schuster, Oberhuber, 2013) применили дендроклиматологические методы и определили зависимость между климатом и приростом трех распространенных на австрийских Альпах хвойных пород сосны обыкновенной, ели и лиственницы европейской, которые растут в сухих условиях

(750 м над уровнем моря). Отклик за период 1911-2009 гг. выявил значительные различия между видами в ответ на климатические факторы. Осадки мая-июня благоприятствуют радиальному приросту ели и лиственницы, а рост сосны в основном зависел от осадков апреля-мая. Рост ели был наиболее чувствителен к маю-июню обратная зависимость от температуры. В последние десятилетия реакция пород на изменения климата указывает на повышенную чувствительность их к засухе. Прирост лиственницы снижается, что указывает на высокую уязвимость вида к стрессу от засухи, умеренно засухоустойчива ель, лучшую адаптированность к водному стрессу проявила сосна, что привело к сдвигу конкурентной борьбы между видами.

П. Рен с соавт., анализируя годовую динамику формирования древесины у можжевельника Преживальского (*Juniperus przewalskii* Kom.) с полузасушливого Северо-Восточного Тибетского плато, Китай (2009-2014 гг.) и в сосны желтой (*Pinus ponderosa* P.Lawson & S.Lawson) из Гипераридной пустыни Мохаве в Неваде, США (2015-2016 гг.) выявили, что скорость роста в лесах Тибетского плато зависит от минимальной температуры и количества осадков. Скорость роста является основным регулятором древесной биомассы в хвойных породах полузасушливых лесов. В более теплых и сухих условиях более продолжительный вегетационный период не будет способствовать формированию более широких колец у хвойных пород, и вызванная потеплением засуха может ограничить поглощение углерода за счет снижения темпов производства клеток (Ren et al., 2019).

Так же, С. Чжан с соавт. (Zhang et al., 2019) изучая реакцию сосны обыкновенной на изменения климата 1958-2014 гг. в бореальных лесах северо-востока Китая пришли к выводу, что увеличение температуры вегетационного сезона, при достаточном запасе воды особенно в начале и середине вегетации (май – июль), влияет положительно на динамику роста. В начале вегетации талая вода покрывает дефицит влаги в условиях сухого климата, рост и реакция деревьев на повышение температуры тесно связана с сезонной доступностью воды.

Распределение растительности в лесостепной области Национального парка Хустай, Монголия показывает, что расположение степных, кустарниковых и лесных сообществ зависит от влагообеспеченности (Wallis de Vries et al., 1996). В сухих местах преобладают степи, луга и кустарники (88% площади, из них 75% степи), лес покрывает около 5% площади, которая ограничена участками, где грунтовые воды находятся в пределах глубины укоренения и вдоль эрозионных оврагов. Лесов больше в лесостепных районах с большим количеством осадков, в условиях исключения антропогенного влияния лесной покров может достигать 12%.

Исследования на Северной Монголии по зарастанию сосной обыкновенной степей в лесостепном экотоне показало, что возобновление и распространение подроста в основном ограничивалось непосредственной близостью леса. От этого зависит, прежде всего, попадание большего количества семян, потому что до 50-90% семян поедается хищниками, содержание влаги и микроклиматический контраст между опушкой леса и степью. Выявлено так же поражение проростков грибковыми болезнями и снегом на открытых участках (Dulamsuren et al., 2012).

О.А. Аненкхонов с соавт. (Anenkhonov et al., 2015) в предгорьях хребтов Хамар-Дабан и Джидинский проводили косвенную оценку влажности среды обитания на основе показателей отношения видов растений к влаге, частоты их охвата, представляющих лиственничные (*Larix sibirica* Ledeb.) и сосновые (*Pinus sylvestris* L.) лесостепные сообщества. Было выявлено, что состав растительного сообщества и его пространственная структура сильно зависят от влажности. Растительность была разделена на лесные или степные сообщества в зависимости от склонового аспекта и плодородия и каменистости почв. Установлено, что влажность почвы в горах зависит, от рельефа (крутизны склона, экспозиции и высоты), а также от свойств и мощности грунтов. Аналогичные результаты получены в результате исследований в Швеции (Seibert et al., 2007). Так же исследуя склоны Западного Прибайкалья (Аненкхонов и др., 2014), были выявлены температурный режим, а также сроки промерзания и оттаивания почв, на южных степных и северных облесенных склонах, полученным с помощью

автоматических датчиков. Установили, что лесные сообщества создают «буферный эффект», результатами действия которого являются снижение температуры почв в теплый период и повышение ее в холодный. Оттаивание почв в лесных сообществах происходило позже на 15 дней, по сравнению с почвами в степных сообществах. Даты начала промерзания почв положительно коррелирует с температурами почвы в течение холодного периода, как в лесных, так и в степных ценозах. Выявлена высокая отрицательная корреляция со среднесуточной температурой холодного периода для начала оттаивания степных почв, а для лесных почв такая корреляция отсутствовала.

Ч. Ксу с соавт. (Xu et al., 2017) на основе анализа возрастной структуры и прироста древостоев в горах Забайкалья выявили, что с усилением локальной засушливости вдоль общего градиента засушливости, леса стали уязвимыми к стрессу от засухи. Обнаружено, что более мелкие участки леса всегда имеют относительно более низкую сопротивляемость неблагоприятным факторам среды. Дальнейшее потепление климата и усиление засухи могут привести к исчезновению небольших участков леса на линии разграничения степи и древесных сообществ. При этом радиальный прирост деревьев оставался относительно стабильным на умеренно засушливых участках. Оценка возрастной структуры деревьев выявила несколько пиков возобновления на различных участках исследования, в 1925-1950 гг., где пик возобновления совпадает на всех участках. После 2005 г. доля молодых деревьев на некоторых участках резко возросла с 7,5 до 26,4%.

Изучая динамику радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в лесостепной зоне Восточного Забайкалья И.Л. Вахнина, выявила климатический сигнал на увлажненность региона (Вахнина, 2011, 2013). Между изменениями осадков и шириной годичных колец наибольшая согласованность отмечается в полосе частот около 20 лет. Автор провела анализ функций отклика обобщенной древесно-кольцевой хронологии на атмосферные осадки и температуру воздуха за 138 лет (с 1871 по 2008 гг.). Корреляционный анализ со среднемесячными температурами воздуха и осадками за период

вегетации (май-сентябрь) показал, что на вариабельность прироста сосны влияют осадки в первой половине сезона вегетации. Корреляционной связи со среднемесячными температурами вегетационного периода не отмечено.

На Алтае отмечено, что в период инструментально зафиксированного потепления климата в лесостепном экотоне, полученные хронологии радиального прироста ели, кедра и лиственницы хорошо согласуются между собой (Бочаров, Савчук, 2015). Радиальный прирост всех трех пород лимитируется недостатком осадков и высокой температурой воздуха в течение вегетационного периода. В нижней части лесного пояса выравненность режима увлажнения нарушает установленные закономерности связи прирост-климат. Также, в этом районе происходит незначительное расширение лесных земель.

А.П. Сизых и В.И. Воронин (2011; 2013) в горах в зоне контакта «лес – экстразональная степь» и зональной лесостепи выявили особенности формирования растительности Байкальского региона. На базе материалов геоботанических описаний растительности в комбинации с полевым дешифрированием космических снимков различного периода, были составлены крупномасштабные картосхемы пространственно-временных изменений структуры растительных сообществ. Установлено, что для всего региона характерны процессы парагенеза в формировании сообществ и облесение степных пространств. Выявлены периоды интенсивного появления молодых деревьев сосны продвинувшихся в степь, которые совпадают с циклами увлажнения на фоне снижения антропогенной нагрузки. Отмечается, что данный процесс приобретает в последнее время региональный масштаб.

Рассматривая влияние высоты местности над уровнем моря на разных формах рельефа – макрорельефе, мезорельефе, микрорельефе Г.Г. Соколова (2016) отмечает, что большая пестрота и разнообразие почвенно-климатических условий в горах обуславливает обилие и богатство растительности горных экосистем по сравнению с растительностью равнин. Количество высотных поясов растительности и набор видов растений в них зависит от высоты и широты, на которой расположены горы. Мезорельеф и микрорельеф оказывают влияние на

перераспределение тепла и влаги, а также питательных веществ в почве. В условиях мезо- и микрорельефа происходит увеличение колебания температур, интенсивности заморозков, длительности безморозного периода, что в основном влияет на развитие растений, их численность и особенности пространственного распределения. Значительное влияние оказывает экспозиция склона, от которого зависят уровень солнечной радиации, распределение снега и скорость ветра. На склонах разных экспозиций наблюдаются закономерные изменения температуры воздуха и почвы, степени прогревания почвы, что отражается на биоэкоморфологической структуре растительности гор. Роль экспозиции возрастает в районах с сухим и континентальным климатом, где различия растительных сообществ на горных склонах наиболее отчетливы. От крутизны склона зависит температура почвы и приземного слоя воздуха, толщина снежного покрова, величина суточной амплитуды температуры, мощность почвенного профиля, интенсивность эрозии, что определяет видовой состав и структуру фитоценозов (Соколова, 2016).

Одним из наиболее перспективных объектов для изучения пространственной структуры и динамики верхней границы древесной растительности являются Уральские горы. Значительная протяженность Урала с севера на юг и относительная доступность объектов изучения позволяет наблюдать динамику растительных сообществ в различных климатических зонах (Шиятов, 1986).

Несмотря на экстремальные условия произрастания и жесткую конкуренцию со стороны травянистой растительности, ряд авторов на Урале указывает на замещение степных и лугово-степных сообществ лесными, а также рост первичной биопродуктивности ландшафтов (Баландин, 2001; Дэви, 2008; Структура и фитомасса..., 2008; Моисеев и др., 2010, 2016, 2018; Князев и др., 2012; Золотарева и др., 2014, 2015; Волков, 2017; Гайсин и др., 2020).

За последние десятилетия на отдельных участках горных степей в предгорьях Ильменского хребта Южного Урала Н.В. Золотарева с соавт. (2014, 2015) отмечают активное возобновление сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)

и сокращение площади горных степей. Также на Среднем Урале в последние 40-50 лет автор выявила интенсивную экспансию древесной растительности, что привело к продвижению границы сомкнутых лесов и сокращению площади экстразональных степей. Уменьшение площадей занятых степными сообществами связывают с повышением температуры, увеличением количества осадков в зимний период, и снижением влияния антропогенных факторов. Интенсивное возобновление сосны на степном склоне сопки Большой в 1952-1954 гг. и на степном участке Елизаветинского лога в 1967-1988 гг., приурочено к периоду увеличения количества осадков (Золотарева, Золотарев, 2016).

Активное поселение сосны в степных сообществах, которые контактируют с лесными массивами на территории Юго-Западного Забайкалья в период с 1988 по 1993 гг. также связано с увеличением количества осадков и снижением антропогенных нагрузок (Сизых, Воронин, 2011).

М.С. Князев с соавт. считают, что сдерживающим фактором полного зарастания степных участков и лесостепей на Урале является ограниченность влаги, которая препятствует активному возобновлению древесных растений, становится причиной их гибели в сухие годы (Князев и др., 2012).

На основе данных космоснимков Landsat, Д.А. Волков (2017) изучил многолетнюю динамику границы леса и экстразональных горных степей в Башкирском заповеднике. Методом дешифрирования выявил границы леса и степи, и вычислил их площади за 1984 и 2016 гг., провел анализ распределения летних дневных температур, которые проведены им так же по данным спутника. Д.А. Волков выявил, что в пределах горного массива Южный Крака на территории Башкирского заповедника за последние 30 лет имело место зарастание горных степей древесной растительностью, и увеличение температуры на поверхности земли.

Для низкогорно-лесостепного ландшафта заповедника «Шайтан-тау» проанализированы 144 комплексных ландшафтных описания и составлена цифровая модель, средствами дискриминантного анализа рассчитана вероятность соответствия характеристик рельефа, химических и морфологических свойств

почв типичным значениям для лесов, кустарников и степей (Хорошев и др., 2018). В результате было выявлено что, степная растительность препятствует возобновлению леса в благоприятных для него позициях рельефа. Лесные и степные сообщества, захватывая нетипичные для них позиции в рельефе, способны быстро преобразовать свойства почвы. По водосборным понижениям степная растительность не способна противостоять восстановлению лесной растительности после нарушений. На крутых склонах степная растительность, захватывающая территорию после пожаров, препятствует восстановлению лесов даже при благоприятной для лесов климатической тенденции. А.В. Хорошев с соавторами (2018) считают, что при решении вопроса о возможных смещениях границ леса и степи, помимо оценки степени зависимости фитоценозов и почв от рельефа и свойств почвообразующих пород, необходимо принимать во внимание, что в условиях густорасчлененного горного рельефа тот или иной тип растительности может получать преимущества в зависимости от локальных условий увлажнения и освещения. После уничтожения растительности пожарами, степная травянистая растительность быстро восстанавливается в отличие от лесной.

В работах С.Е. Кучерова (Кучеров, 2010; Кучеров, Мулдашев, 2011; Кучеров, Кучерова, 2013) в лесной зоне Зилаирского плато отмечено наличие достаточно сильной связи радиального прироста лиственницы и сосны с осадками мая, июня и июля текущего сезона, а также снижение продуктивности, ослабление и усыхание дубовых лесов вследствие влагодефицитного стресса. Авторы считают, что в южной оконечности Урала происходит уменьшение количества осадков и увеличение температуры, которые отражаются на древесной растительности.

Горные степи, располагающиеся на крутых склонах южных экспозиций, являются эдафически обусловленным субклимаксом, способным существовать неопределенно длительное время. Жесткий радиационный режим и постоянный смыв мелкозема со склона препятствуют формированию почвенного слоя достаточной мощности и влагоемкости для существования древесной

растительности (Жирнова и др., 2007). Тем не менее, степные фитоценозы постоянно обогащаются проростками сосны, которые обычно погибают в течение первых лет жизни под воздействием экстремальных условий. Однако в последние десятилетия стало очевидным сокращение площадей, экстразональных горных степей. Повторное обследование 11 степных участков, описанных в окрестностях г. Екатеринбурга показало, что происходит интенсивное зарастание сосной на всех участках, а три из них практически исчезли (Баландин, 2001). Активное развитие подроста сосны отмечено также и на других степных участках (Золотарева, 2011). В настоящий момент условия для развития древесной растительности благоприятны даже на участках, где степная растительность сохранялась тысячелетиями (Князев и др., 2012).

Исходя из этого, наблюдаемое во многих регионах мира изменение режима выпадения осадков может привести к влагодефицитной деградации лесов замещению их другой растительностью или к облесению степных пространств, как следствие к упрощению структуры горностепных сообществ и исчезновению или сокращению ареала редких и эндемичных видов растений (Кокорин и др., 2013). Следует отметить, что процессы облесения степей и лесостепей характерны для отдельных территорий: Прибайкалья, Монголии и Дальневосточных регионов и некоторых других горных областей (Sizykh, 2016).

Большая часть растительных сообществ на границе между лесами и степями значительно трансформирована или уничтожена в результате человеческой деятельности, что не позволяет использовать их для изучения климатогенной динамики. Нетронутые человеком остепененные склоны сохранились в некоторых районах Алтая (Hais et al., 2016), Сибири (Сизых, Воронин, 2011), Среднего и Южного Урала (Горчаковский, Золотарева, 2006; Золотарева, Подгаевская, 2012; Князев и др., 2012; Ямалов, Баянов, 2012).

В исследуемом районе степи экстразональны, представляют собой острова в окружении светлохвойных лесов, приурочены к сильно расчлененному горному массиву Крака и расположены в зависимости от крутизны на высоте от 550 до 1020 м над уровнем моря, на склонах преимущественно южной экспозиции.

Древесная растительность, произрастающая на остепненных склонах Крака испытывает крайне неблагоприятное воздействие со стороны окружающей среды. Здесь формируются своеобразные, жесткие микроклиматические и почвенно-грунтовые условия высокие (до +55 °С среднемесячные максимальные и до +72,5 °С абсолютные максимальные) летние температуры на поверхности почвы в сочетании с физической сухостью почвы (минимальная величина влажности корнеобитаемого горизонта может опускаться до 3,3%); большие колебания температуры на поверхности почвы (до 67 °С); постоянный смыв почвы с верхних частей склона), создающие экологический барьер для появления и роста древесной растительности (Жирнова, Сайтов, 1993; Жирнова и др., 2007).

Не смотря на значительные исследования лесов на стыке с другими сообщества в горах, многие вопросы структуры, динамики и формирования древостоев на фоне современного изменения климата изучены в недостаточной степени. О процессах, происходящих на границе лесов и горных степей, остепненных склонов гор массива Крака и других районах Южного Урала практически отсутствует информация о том, какие факторы способствуют экспансии леса на горные степи.

1.3. Фитомасса древостоев на границе произрастания

На фоне увеличения парникового эффекта выявление и количественная оценка экологических функций лесов, в частности, их роли в глобальном углеродном цикле является актуальной задачей. Первые данные о закономерностях накопления стволовой массы (запасов стволов) в лесных насаждениях появились еще в первой половине XIX века, позднее в работах Р. Гартинга (Harting, 1886) и П. Флари (Flury, 1892), тогда оценку массы других фракций выражали в процентах от объема ствола. Целенаправленные исследования биомассы деревьев с подразделением на различные фракции начали проводить в начале прошлого века.

Исследования биологической продуктивности и особенности накопления фитомассы лесов, в том числе для Южного Урала, изучены достаточно хорошо (Поздняков и др., 1969; Луганский, Луганская, 1970; Нагимов, 1984, 2000; Мельникова, 1993; Луганский, Нагимов, 1994; Усольцев, 1998; Нагимов, Сальникова, 1998 и др.). Получены сведения об особенностях накопления органического вещества и соотношения фитомассы по фракциям. Эти исследования проведены в основном в сомкнутых насаждениях эксплуатационных лесов. На современном этапе для охвата больших территорий и определения фитомассы всех компонентов леса используют дистанционные и эмпирические методы оценки. В горах, где создаются экстремальные условия для роста древесных растений, и деревья не могут проявить свой биологический потенциал полностью в процессе онтогенеза, объем экспериментальных материалов не достаточен (Усольцев, Залесов, 2005).

Анализ литературы показывает за последние годы происходит неоднозначная реакция древесной растительности на изменение климата и увеличения углекислого газа. В первую очередь зависит от географического положения, условий роста и высоты в горах. Отмечается, что рост продуктивности и накопления фитомассы увеличивается в тропиках, в Европе и в лесах умеренного пояса. В высокогорье и северных районах, повышение продуктивности связан с улучшением гидротермических условий роста, в средней полосе в сухих условиях от количества осадков, а так же эдафических факторов. Немаловажную роль играют биологические особенности каждой породы, возраст древесных растений и густота (Wilmking et al., 2004; Stegen et al., 2011; Miao, Li, 2011; Fang et al., 2016; Forrester et al., 2017; Zeng et al., 2017).

Большой вклад в исследование фитомассы древесных растений в России внес Усольцев. Усольцев с соавторами выявил широкое разнообразие независимых переменных и их сочетаний взаимосвязи фитомассы различных пород деревьев и древостоев с климатическими условиями. По сформированной ими базе данных о фитомассе большого количества модельных деревьев по лиственнице, сосне и ели другим породам по России и миру создали модели по

структуре фитомассы всех фракций деревьев. Выявили региональные различия, при продвижении в континент и в горы, где снижается фитомасса большинства надземной части фракций. Ухудшение условий роста приводит к уменьшению в первую очередь фитомассы хвои и ветвей, стволовая масса меняется в меньшей степени. Чем жестче условия роста древесных растений, соотношение надземной и подземной фитомассы будет в сторону увеличения последней. Установлено, что в холодных климатических поясах увеличение осадков приводит к снижению фитомассы всех фракций, а в теплых – к ее увеличению (Усольцев и др., 2014; 2018; 2019).

Н.М. Чебакова с соавторами (2001) исследуя горные леса Южной Сибири, в частности Кузнецкого Алатау, на границе древесной растительности оценивали запасы фитомассы в условиях потепления климата. В результате пересчета климатических индексов в соответствии со сценарием изменения климата (увеличение летней температуры на 2 °С и годовых осадков на 20%), создаст благоприятную среду для растительности и депонирования большего количества углерода из атмосферы. Лесные экосистемы будут расширяться за счет соседних безлесных или малолесистых экосистем: в низменные луга за счет дополнительного увлажнения и в субальпийские высокогорья за счет дополнительного тепла, при этом общая фитомасса увеличится на 342 млн. т (17%).

В последние годы появились работы по оценке надземной фитомассы деревьев и древостоев и углерододепонирующей способности насаждений в горах в экотоне между древесной растительностью и тундрой, в том числе и на Урале (Нагимов и др., 2007, 2008; Дэви, 2008; Андреяшкина, 2014; Бубнов и др., 2015; Моисеев и др., 2016; 2019; Григорьев и др., 2019).

З.Я. Нагимов с соавторами (2007) изучая фитомассу еловых древостоев на границе леса в подгольцовом поясе горы Малый Ирмель (Южный Урал) в диапазоне от 1210 до 1360 м над уровнем моря, установили, что фитомасса древостоев в абсолютно сухом состоянии по мере поднятия в гору уменьшается с 182,3 т/га в сомкнутых насаждениях до 3,4 т/га – редирах (на каждый метр

высоты уменьшается на 1,19 т/га). В общей фитомассе древостоев доля корневых систем (подземной части) повышается по мере продвижения в гору и составляет 20,6-30,0%.

Также на горе Конжаковский Камень (Северный Урал) провели исследования надземной фитомассы березовых древостоев в экотоне верхней границы леса склонах южных экспозиций. Здесь общая фитомасса древостоев по мере увеличения высоты над уровнем моря уменьшается с 59,5 т/га на нижнем уровне до 3,05 т/га на верхнем (на каждые 25 м высоты на 14,1 т/га), уменьшается доля стволовой массы и увеличивается доля фитомассы крон и их структурных частей (Нагимов и др., 2008).

В ходе исследования различных форм (одноствольные и многоствольные) ели сибирской в массиве Ирмель (Южный Урал) М.О. Бубнов с соавторами установили, что структура фитомассы деревьев различных жизненных форм имеет существенные различия. У одноствольных и многоствольных деревьев в надземной фитомассе на долю стволов приходится в среднем 47 и 55% соответственно. С увеличением высоты над уровнем моря доля массы стволов в общей надземной фитомассе деревьев уменьшается в 1,6-1,9 раз, а доля ветвей и хвои, наоборот, увеличивается в 1,5-4 раза. Это связано с уменьшением возраста древостоев и ухудшением условий их произрастания. С увеличением высоты над уровнем моря сокращается вегетационный период. В неблагоприятных условиях роста для производства единицы массы древесины требуется больше ассимиляционного аппарата (Бубнов и др., 2015).

Аналогичные результаты получены в массиве Ирмель П.А. Моисеевым с соавторами, в частности они указывают, что с 1910 г. по 1940 г. фитомасса увеличивалась (с 0,2-0,4 до 6,4-13,8 т/га) сравнительно медленно – в среднем по 3,3 т/га за каждые 10 лет. К 1970 г., когда фитомасса древостоев достигла 29-43 т/га, темпы ее прироста возросли почти в 3 раза – до 8,9 т/га за каждые 10 лет. Между 1970 и 2002 гг. темпы прироста еще больше увеличились и составили 17,5 т/га за каждые 10 лет. Повторные измерения морфометрических показателей деревьев и их пересчет в 2012-2013 гг. показали, что за последние 10 лет темпы

прироста фитомассы древостоев здесь существенно снизились – до 1,4-10,9 т/га. Это может быть обусловлено как снижением ростовых процессов по причине увеличения конкуренции за свет при повышении сомкнутости крон деревьев, так и увеличением отпада (3,4-10,1 т/га) из-за естественного старения древостоев, а также конкуренции за свет и минеральные вещества (Моисеев и др., 2016).

Н.И. Андряшкиной обследованы участки горы Черной на Полярном Урале. Автор выявляла фитомассу всех компонентов растительных сообществ по уровням по высотному градиенту – от лиственничных лесов и редколесий к тундрам на высотном профиле. Установила, что меняется структура и соотношение надземной и подземной фитомассы, снижаются запасы фитомассы, годичный прирост надземных частей растений и скорость разложения растительного материала. По высотному градиенту – от лиственничных лесов и редколесий к тундрам с одиночными деревьями существенно снижается общий запас фитомассы всех компонентов растительного покрова от 634,3 т. в сомкнутых лесах, 283,6 т. в рединах до 93,6 т/га в тундре, где растут одиночные деревья, а фитомасса древесных растений снижается на 336,2, 133,2 и 36,3 т/га соответственно (Андряшкина, 2014).

А.А. Григорьев с соавторами в западной части плато Путорана (массив Сухие горы) на основе анализа возрастной структуры древостоев лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* Rupr.) и сравнения разновременных топографических карт и спутниковых снимков установили изменения в высотном положении верхней границы древесной растительности. Выявили, что наиболее значительные изменения произошли на склонах южной и юго-западной экспозиций. Провели реконструкцию хода изменения структуры и фитомассы древостоев верхней границы леса в последние столетия. Анализ возрастной структуры древостоев, запасов и динамики накопления фитомассы показал, на верхней границе сомкнутых лесов наиболее резкое увеличение запасов фитомассы древостоев произошло в период с 1900 по 1950 г. Запасы фитомассы в данный период выросли в 7 раз, годовая продукция – в 4 раза. В последующий период скорость накопления увеличилась еще в 1,7 раза. Текущие запасы надземной фитомассы в

сомкнутом лесу составляют 34-42 т/га. В редколесье до 1950 г. средняя скорость накопления фитомассы была 0,007 т/га в год, во второй половине XX в. в связи с массовым появлением деревьев этот показатель увеличился в 8,7 раза. Текущие запасы надземной фитомассы в редколесье составляют 4,8-12,0 т/га и продолжают повышаться со средней скоростью 0,34 т/га в год. Массовое формирование древостоев в верхней части современного экотона началось лишь во второй половине XX в. До этого периода запас надземной фитомассы на данном высотном уровне был практически нулевой. Средняя скорость накопления фитомассы в период с 1800 по 1950 г. была очень низкая и составляла 0,0003 т/га в год. В последующий период скорость накопления увеличилась в 32 раза. Текущие значения запасов фитомассы в тундре с группами деревьев составляют 0,4-0,9 т/га. Отмечают, что наиболее высокая текущая скорость увеличения запасов фитомассы древостоев (в 8-16 раз с 2000 г.) в верхней части современного экотона. Возрастание темпов годичной продукции происходит по причине нахождения данных древостоев на стадии формирования, которая пришлась на период, благоприятный для выживания и роста вновь появляющегося поколения деревьев (Григорьев и др., 2019). Близкие результаты получили на Хибинах П.А. Моисеев с соавторами (2019). Ими выявлено, что увеличение сомкнутости и продуктивности насаждений, а также продвижении границы леса выше в горы на фоне изменения климата, произошли наиболее активно за последние 60 лет.

В целом, проведенный анализ литературных данных позволяет сделать заключение, что в лесах хозяйственного значения, произрастающих в благоприятных условиях, производительность древостоев, накопление первичной продуктивности, оценка фитомассы, изменений различных фракций и их соотношения достаточно хорошо изучен. Составлены различные нормативно-справочные материалы, зависимости фитомассы от различных таксационных параметров. Остается недостаточно изученным вопрос о формировании фитомассы лесов на пограничной полосе в высокогорье. Данных о накоплении и формировании фитомассы древесных растений в экотоне лесов с горными степями в научной литературе практически отсутствуют.

1.4 Пожары и их влияние на динамику растительности в горах

Огонь как пирогенный фактор воздействовал на растительность на протяжении всего ее существования (Ткаченко, 1952; Побединский, 1965; Санников, 1992; Reinhardt et al., 2001; McRae et al., 2006 и др.). Многочисленные исследования подтверждают, процессы восстановительной демутации зависят от комплекса факторов. Самыми главными являются интенсивность воздействия пожара, типа леса, возраст древостоя, меньше от экспозиции и крутизны склона, эдафических условий, а также от урожайности семян и благоприятных погодных условий в последующем (Фуряев, 1996; Габдрахимов, 2001; Гайсин, 2017; Payette, 1992; Engelmark, 1993 и др.).

Степень и вид повреждения деревьев, а также последующие изменения фитоценоза зависят не только от характеристик лесного пожара, но и определяются пирологическими свойствами каждой породы и насаждений в целом. Наибольшей устойчивостью к огневому воздействию отличаются светлохвойные породы сосна и лиственница, в возрасте спелости.

В горах, где древесная растительность находится в экстремальных условиях роста, после уничтожения или изреживания древостоев пожарами, последующего изменения микроклимата и почвенно-грунтовых условий, восстановление прежних границ лесов, растягивается на длительное время, иногда оно практически невозможно. Это подтверждается исследованиями в России и за ее пределами (Хорошев и др., 2018; Allen, 2009; Dulamsuren et al., 2018 и др.).

Исследователи, отмечают малую стабильность и легкую ранимость горных экосистем. Малейшие нарушения сложившегося экологического равновесия приводят к нарушению устойчивости этих сообществ и даже к необратимым последствиям: упрощению структуры, снижению продуктивности, смене растительности, усилению эрозии почв и др. (Горчаковский, Шиятов, 1985).

На Южном и Центральном Орегоне на основе древесно-кольцевого анализа сосны желтой (*Pinus ponderosa* P.Lawson & S.Lawson) и можжевельника западного (*Juniperus occidentalis* Hook.) было выявлено, что распространение

можжевельника на полынные степи и увеличение их площади происходит после уменьшения частоты пожаров и чрезмерного выпаса скота. Можжевеловые кусты при пожаре сгорают в первую очередь, по отсутствию или наличию можжевельника и его возрасту можно определить время и степень воздействия пожара (Miller, Rose, 1999).

В горах Сан-Франциско-Пике Северной Аризоны (США) с 1879 г. происходило увеличение сомкнутости лесов, изменение видового состава в результате вторжения теневыносливых хвойных пород. Это связано, прежде всего, кроме климатических и антропогенных факторов, с уменьшением количества пожаров (Cocke et al., 2005). Схожие результаты были получены, в горах Вильгельм субальпийской зоны в Папуа Новая Гвинея (Corlett et al, 1989), в Китае горах Большого Ханга (Xugao et al, 2007; Chena et al, 2014).

На территории России в горах Сихотэ-Алинского заповедника пожары вызывают постпирогенные сукцессии по дигрессивному типу и приводят к увеличению площадей каменных россыпей, луговых сообществ и кустарниковых зарослей (Громыко, 2007).

Исследования послепожарной динамики микроклимата и гидротермического режима почв, проведенного в сосновых насаждениях Забайкалья показывают, что после пожара наблюдались контрастные различия в температуре поверхности почвы между пожарищем и контрольным участком, достигающие до 20 °С. Повышенный прогрев почвы прослеживался до глубины 120 см. Пирогенные потери влаги зависят от местоположения: умеренные характерны для пологих участков, критическое иссушение – для крутых склонов. Ухудшение лесорастительной среды после пожаров негативно отражается на продуктивности и структуре сосняков. Восстановление леса на обширных гарях протекает преимущественно со сменой сосняков лиственными породами, а в сухой лесостепи отмечается локальное обезлесение (Евдокименко, 2014). Так же на склонах гор юга Дальнего Востока на склонах лесные пожары приводят к трансформации растительности, направленное на смену древесной, на травянисто-кустарниковую и иссушению почвогрунтов (Скрыльник, 2018).

Исследования постпирогенной трансформации лесов на Южном Урале проводились в основном с лесоводственной точки зрения в эксплуатационных лесах. Работ, посвященных изучению преобразования растительности на остепненных участках нет или характеризуют частично (Габдрахимов, 2000, 2001; Мартыненко и др., 2001; Федоров и др., 2013; Хасанова, 2014). Анализ результатов показывает, что пожары приводят к ухудшению условий для роста деревьев, гибели насаждений, к их медленному восстановлению иногда со сменой пород. В горах приводят к отступлению границы леса и замещению травянистой растительностью. Восстановление леса растягивается на очень длительный срок или не возможен при повторном воздействии пожаров.

Пожары в районе расположения Кракинской гряды возникают, за редким исключением, ежегодно. Об этом свидетельствуют многочисленные пожарные подсушины на стволах деревьев, обгоревшие пни различной давности, на почвенных профилях слои с содержанием угля. В особо сухие и жаркие годы количество возгораний увеличивается, и могут занимать большие площади. Так в 1975 году на территории Башкирского заповедника возник крупный пожар, тогда пожаром различной интенсивности была охвачена площадь более 10 тыс. га. (Летопись природы, 1976). Этому способствует специфичный климат, сложный в орографическом отношении рельеф, а также грозы (Габдрахимов, 2001; Гайсин, 2017).

В районе горного массива Крака на остепненных участках, при низкой сомкнутости древостоя проходят в основном низовые беглые пожары. Для сомкнутых насаждений где, большое количество горючего материала, характерны устойчивые, более интенсивные пожары. Однократные беглые пожары не приносят ощутимого ущерба светлохвойным деревьям, но уничтожают живой напочвенный покров, кустарники и подрост (Санников, 1992; Гайсин, 2017).

Лесные пожары являются естественноисторическим экологическим фактором, сформировавшим современный облик биогеоценологического покрова массива гор Крака. Для проведения дендроклиматических исследований эти участки не подходят, так как воздействие пожаров приводит к трансформации

лесных сообществ, упрощению их структуры, снижению продуктивности, искажению результатов влияния изменений климата. Поэтому на участках пройденными лесными пожарами профили для исследования динамики и возрастной структуры древесных растений нами не закладывались. В качестве индикатора выступили: отсутствие или наличие можжевельников зарослей, свежие пожарные подсушины на стволах деревьев, отсутствие подроста.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследования находится на Южном Урале, в юго-восточной горно-лесной части Республики Башкортостан. Габбро-гипербазитовые массивы Крака расположены в северном замыкании Зилаирского мегасинклинория. Это четыре изометричных в плоскости тела общей площадью порядка 900 км^2 , разделенные полями осадочно-вулканогенных толщ. С севера на юг выделяют Северный, Средний, Узянский и Южный Крака к западу от основных центральных горных поднятий Южного Урала. Географическое расположение определяется координатами: $53^{\circ}15' - 53^{\circ}50'$ с. ш., $57^{\circ}36' - 58^{\circ}12'$ в. д. (рисунок 1).

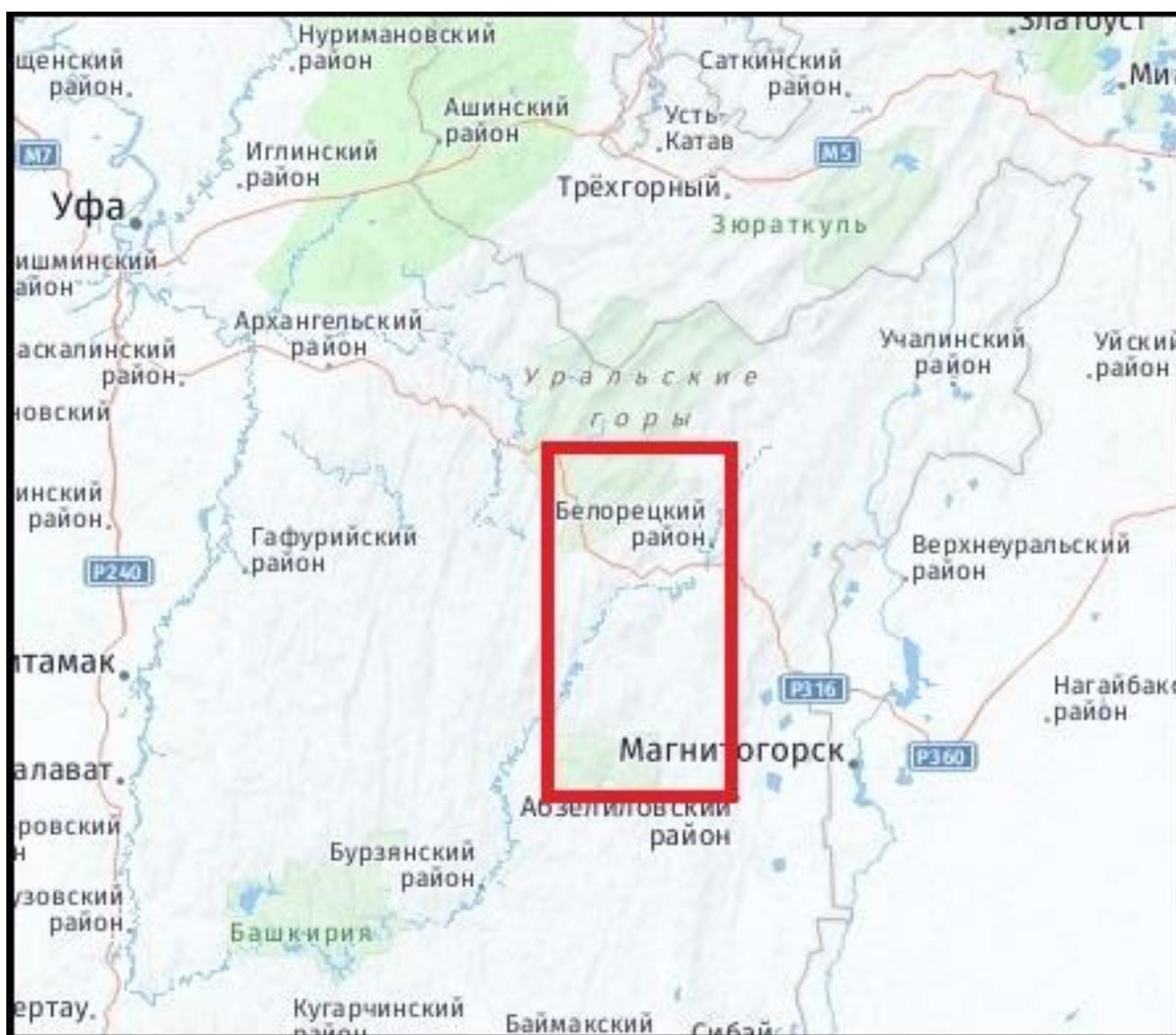


Рисунок 1 – Район исследования ее расположение

Массив Северный Крака представлен телом изометричной формы с размерами 18x18 км. Средний Крака, занимает площадь около 280 км². Наиболее крупным из четырех рассматриваемых массивов является Южный Крака, площадь его составляет 500 км², 85% которого находится на территории Башкирского государственного заповедника.

2.1 Климат

Климат Южного Урала формируется в результате взаимодействия солнечной радиации и атмосферной циркуляции с поверхностью земли. Горно-лесные районы Южного Урала резко контрастируют по климатическим условиям от прилегающих лесостепных участков Предуралья и Зауралья, для него характерен более суровый температурный режим, переменчивость и перепады свойственный гор, выпадение большего количество осадков и т. д. (Экологическая экспертиза..., 1994). Мозаичность местного климата массива Крака определяет, сильная вертикальная расчлененность, сложное сочетание древесной растительности и экстразональных степей, асимметрия и различная экспозиция склонов, развитая гидрологическая сеть (Филонов, 1963).

В среднем продолжительность безморозного периода составляет 80-90 дней, сумма активных температур воздуха 1850 °С (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Климатические данные района исследований

Продолжительность периода с температурой воздуха, °С				Абсолютные температуры воздуха, °С		Осадки, мм		Высота снежного покрова, см
>0	>5	>10	>15	max	min	за год	май-сентябрь	
Дни								
195	160	120	65	42,9	-48	582	310	64

Среднемноголетнее количество осадков составляет 582 мм, колеблется от 374 до 762 мм, примерно половина, которых выпадает в период вегетации растений. При этом только 25% влаги выпадающих осадков используются растениями, расходуясь на поверхностный сток и испарение (Агроклиматические ресурсы..., 1976).

Температурный режим характеризуется следующими цифрами: средняя годовая температура +1,2 °С, составляя в разные годы от -1,5 °С до +2,4 °С, средняя многолетняя температура января -16,7, а июля +17,4 °С. Абсолютный минимум -46 °С, максимум +38 °С. По данным метеорологической станции «Башгосзаповедник», в 2016 г. абсолютный максимум составил +42,9 °С, за период наблюдений с 1937 г.; лето 2016 г. оказалось самым жарким – на 6,9 °С выше среднемноголетних значений. Предыдущее рекордно жаркое лето 2010 г. был на 5,5 °С выше нормы (Летопись природы, 2011; Экологический мониторинг..., 2012). Вегетационный период продолжается 149 дней. Средний многолетний индекс засушливости составляет 53,8 мм. Наиболее засушливыми месяцами являются май и июнь. В мае индекс засушливости в среднем равен 21,1 мм, а в июне - 27,3мм. В отдельные годы этот показатель может снизиться до 8-12 мм. (Иванов, Петров, 1965; Агроклиматические ресурсы..., 1976).

Наибольшее количество осадков выпадает в июле – 82,9 мм, меньше всего в феврале около 22 мм (Иванов, Петров, 1965). Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 160-170 дней. Глубина снежного покрова в среднем достигает в декабре 31-40 см, максимальное, к концу зимы – 51-60 см. В горах глубина снега крайне неравномерна, из-за ветрового переноса снежных масс, в пониженных частях рельефа может достигать 1,5-2 м, а в верхней части склонов на гребнях хребтов – всего несколько сантиметров. Снеготаяние начинается обычно с 26-27 марта, оканчивается в среднем 15-20 апреля (Агроклиматические ресурсы..., 1976). Преобладающие направления ветров – западное и юго-западное. Почва промерзает в среднем на глубину 80-90 см, бесснежные годы – на 130-150 см.

Относительная влажность воздуха в летний период колеблется от 63 до 74%. Вегетационный период достаточно влажное, коэффициент ГТК (1,30-1,45). Начало вегетационного периода (переход среднесуточных температур выше 5 °С) приходится на III декаду апреля, а конец на III декаду сентября и длится в среднем 160 дней.

Территория характеризуется грозовой активностью, сухие грозы июня, июля являются естественной причиной возгорания лесов.

К неблагоприятным факторам климата следует отнести ранние осенние и поздние весенние заморозки, значительные суточные колебания температуры, резко меняющаяся относительная влажность и большая инсоляция. Стихийные природные явления (ураганы, сильные ливни, снегопады и др.) приносящие ущерб лесному хозяйству, довольно редкое явление.

Следует отметить, что эти сроки, вследствие сложности и специфики рельефа, имеют значительные отклонения от средних величин.

2.2 Геология и рельеф

Южный Урал имеет сложное геологическое строение и сильно расчлененный рельеф. В тектоническом отношении Южный Урал является крупной линейной складчатой системой с выдержанным меридиальным простиранием основных структурных элементов. Здесь выделяется ряд геосинклинальных прогибов, разделенных геоантиклинальными поднятиями. Эти прогибы и поднятия существенно отличаются друг от друга по характеру строения, магматизму и степени метаморфизации пород (Урал и Приуралье, 1969). Район исследования находится в южной части Башкирского антиклинория, по мнению геологов (Камалетдинов, 1974), он образовался более 400 млн. лет назад в результате сильной тектонической деятельности.

Габбро-гипербазитовый массив Крака расположен в северном замыкании Зилаирского мегасинклинория, находится на левобережье реки Белой, южнее города Белорецка. От других гор его ограничивает с севера - широтный участок

реки Белой; с юга – река Южный Узян. Состоит из четырёх самостоятельных крупных горных массивов: Северного, Узянского, Среднего (Центрального) и Южного Крака, разделённых друг от друга долинами рек Северный Узян и Кага (рисунок 1). С севера на юг общая протяжённость около 90 км. Крака – это невысокие горные области с сильно пересеченным рельефом. Абсолютная высота хребтов и гряд массива 700-900 м, высшая точка (1045 м) – находится на плато хребта Суртанды, относящегося, к северной группе хребтов массива (Атлас., 2005). Массив имеет сложную узловатую систему отрогов с отвесными ущельями и глубокими долинами, которые, постепенно переходят в речные террасы. Преобладающие уклоны поверхностей находятся в пределах 10-25° (Физико-географическое ..., 1964; Заповедники СССР, 1983).

2.3 Почвообразующие породы и почвы

Для массива гор Крака характерно большое разнообразие состава горных и почвообразующих пород. Среди них выделяются магматические ультраосновные и основные породы с высоким содержанием окислов кремния (45-65%). Ультраосновные породы представлены перидотитами и дунитами, основные – габбро и базальтами, средние - диоритом и сиенитом, кислые – гранитами и пегматитами. Из карбонатных пород развиты доломит и известняк. Широкое распространение имеют метаморфические породы – кварциты, гнейсы, мрамор, сланцы (Почвы Башкортостана..., 1995; Атлас..., 2005).

Климатические условия в пределах горно-лесной зоны способствуют высокому содержанию гумуса с высокой подвижностью гумусовых соединений в почвах. Периодическое переувлажнение, высушивание, замерзание, протаивание в результате резких колебаний температур приводят к определенной напряженности почвообразования (Почвы Башкортостана..., 1997; Мукатанов, 2002).

На основных и ультраосновных породах массива Крака в основном формируются почвы дерново-подзолистого и черноземного типов. Чередование

различных типов ландшафтов и растительности, частые пожары приводят к смене почвообразовательного процесса, создавая сложную мозаику в почвенном покрове (Тайчинов, 1956).

Недоразвитые, примитивные, грубоскелетные, каменистые почвы на обследованной территории, в силу особенностей рельефа, имеют широкое распространение и большой удельный вес в почвенном покрове. Они имеют невыраженный фрагментарный почвенный профиль, в пределах 20-30 см, при этом содержание гумуса достигает 10-12% (Атлас..., 2005).

На массивах гор Крака своеобразный климат, растительный и животный мир, коренные горные породы, сильная расчленённость рельефа являются основными факторами, в результате сложного взаимодействия которых происходит формирование и развитие почв, района исследований и отличающихся исключительным разнообразием, изменчивостью и пестротой на сравнительно коротком расстоянии (Мукатанов, 2001).

2.4 Гидрография

Территория отнесена к центральному гидрологическому району Башкирии. Здесь развиты аллювиальные и делювиальные водоносные горизонты. Глубина залегания грунтовых вод колеблется от 1,5 м до 9 м. Дебит – от 4 до 15 л/сек. Воды пресные, слабо минерализованные, пригодные для питьевых целей (Абдрахманов, Попов, 2010).

Гидрологическая сеть очень хорошо развита, и обладает достаточно высокой плотностью: от 0,91 в районе Северного Крака, до 1,59 в районе Южного Крака. Основным водотоком является река Белая, берущая начало среди обширных болот на западном склоне горы Аваляк. Крупными притоками реки Белой разделяющими массив на Северный Средний и Южный Крака являются реки Северный (Верхний) Узян, Кага и Южный Узян. Гидросеть, представленная многочисленными ручьями и речками – один из факторов, оказавших существенное влияние на образование эрозионных форм современного рельефа.

Реки, могут быть охарактеризованы как типичные горные реки с большой скоростью течения.

Питание всех речек и ручьев исследуемого района смешанное – дождевое, снеговое и грунтовое. Крутые каменистые склоны массива на южных инсолируемых склонах обуславливают более быстрое и раннее таяние снега и спад воды, вследствие этого в засушливые годы, во второй половине лета водотоки сильно мелеют, а часть мелких ключей полностью пересыхает. Обеспеченность водными ресурсами в среднем составляет 2500-3000 кубометров в год на 1 га площади (Балков, 1978).

Леса способствуют стабильности водного режима и снижению летних расходов воды в реках. Благодаря лесам и их подстилкам вода очищается и в горных речках отличается высоким качеством. Водоохранная, водорегулирующая и почвозащитная функция лесов в горах увеличивается многократно.

2.5 Растительный покров

Современная естественная растительность Южного Урала резко изменилась как по характеру, так и по ареалу распространения по сравнению с недавним прошлым. Сохранившиеся естественные леса претерпели серьезные изменения в результате сплошнолесосечных рубок, смены пород и посадок лесных культур.

Характерной особенностью Урала является то, что горы вносят нарушения в картину зональности, характерную для прилегающих равнин. Южный Урал по географическому положению район находится в зоне широколиственных и хвойно-широколиственных лесов. Так же здесь проходят восточные и южные границы многих европейских древесных пород, западные границы сибирских, а также северные границы некоторых степных растений. Полоса степей заходит гораздо дальше на север, чем в других районах европейской части России.

Согласно ботанико-географическому районированию Урала территория исследования отнесена к подзоне сосново-березовых лесов бореально-лесной зоны (Горчаковский, Шурова, 1982).

В соответствии с лесорастительным районированием СССР (Курнаев, 1973) территория входит в округ предстепных боров восточного склона Южного Урала, который относится к Уральской провинции Евразиатской лесной области умеренного пояса. Округ характеризуется преобладанием сильно остепненных сосновых боров с лиственницей и участками степной растительности по южным склонам. Леса занимают более 80% площади, покрывая сплошь невысокие хребты и северные склоны более высоких гор. В настоящее время господствует сосна. По историческим данным, в недалеком прошлом главной лесообразующей породой была лиственница (Мозговая, 1974). Размещение лесной растительности самым тесным образом связано с рельефом территории (Крашенинников, 1941; Мукатанов, 1982). Нахождение во флоре горных степей Крака плейстоценового флористического комплекса Урала (Крашенинников, 1954) свидетельствует о возможном реликтовом происхождении ряда степных формаций и дальнейшей их связи с ксеротермическим периодом голоцена.

На хребтах массивов Крака преобладают насаждения, состоящие из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb) с небольшой примесью березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth.) очень редко осины (*Populus tremula* L.) и на Северном Крака в составе древостоя может присутствовать ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.). Лиственница занимает верхние части хребтов и на границе леса со степью, образуя нередко господствующее положение в составе насаждения. Другой особенностью этого района, является развитие на больших площадях горных петрофитных луговых степей до 22% (Нешатаев, 1983). В массиве Крака степи располагаются на инсолируемых склонах южной, юго-восточной и юго-западной экспозиций, а северные склоны сплошь, до вершины, покрыты древесной растительностью. Степи занимают вершины и гребни хребтов, верхние и реже средние части склонов 900-600 (1020) м над уровнем моря, в зависимости от крутизны и каменистости, могут отпускаться до 500 м (Жирнова и др., 2006; Ямалов, 2011).

В горно-лесной части Южного Урала встречаются леса от Ia до Va классов бонитета. Преобладают леса II и III классов бонитета (79%), естественная

продуктивность их колеблется от 200 до 350 м³. Самые высокопроизводительные леса Ia класса бонитета занимают лишь 0,1% от лесопокрытой площади. Преобладают насаждения с полнотой 0,5-0,7, которые занимают 64,5% лесопокрытой территории. Наибольшая полнота у сосновых насаждений, в среднем 0,71.

Из кустарников чаще встречаются можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), ракитник русский (*Chamaecytisus ruthenicus* Fisch. ex Wolf.), черемуха обыкновенная (*Prunus padus* L.), спирея зверобоелистная (*Spiraea hypericifolia* L.), шиповник майский (*Rosa majalis* Herrn.), несколько видов ив и др.

3. ПРОГРАММА, ОБЪЕКТ, МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

3.1 Программа исследований

В соответствии с целью исследований решались следующие программные задачи:

Обзор научной литературы по теме исследования.

Оценка изменений площади горных степей по современным спутниковым снимкам и топографическим картам прошлых лет.

Закладка высотных профилей на переходной полосе между лесом и горной степью на остепненных склонах гор Крака.

Характеристики древостоев и их местопроизрастаний в различных частях экотона лес-горная степь на массиве гор Северный и Южный Крака.

Анализ возрастной структуры и особенностей формирования древостоев на остепненных склонах массива Крака.

Анализ изменения климата, по данным инструментальных наблюдений метеорологических станций находящихся в непосредственной близости району исследования.

Выявление особенностей накопления, и распределения по различным фракциям надземной фитомассы древостоев.

3.2 Объект исследований

Объектом исследований являлись светлохвойные леса на остепненных склонах массива Крака, располагающегося в горно-лесной зоне восточного макросклона Южного Урала, где в экотоне лес-горная степь вследствие изменений климата происходит экспанция древесной растительности на безлесные участки горных степей.

Экотон границы древесной растительности включает несколько категорий верхних пределов древесной растительности (Горчаковский, Шиятов, 1985): верхняя граница сомкнутых лесов (сомкнутость крон 0,4-0,5), редколесий (сомкнутость крон 0,2-0,3), редины (сомкнутость крон 0,05-0,1), верхняя граница отдельных деревьев (сомкнутость крон менее 0,05).

3.3 Методика исследований

3.3.1 Оценка изменений площади

Нами было проведено сравнение контуров границы сомкнутых лесов на ряде современных топографических карт масштаба (М1:25000) и созданных контуров древесной растительности для безлесных участков массива гор Крака, на основе современных аэрокосмоснимков высокого разрешения (менее 1 м²/пикс.).

Отмечено, что контуры границ лесных сообществ, отображенных на топографических картах, в наибольшей степени совпадают с границами древостоев с сомкнутостью крон 35-40% (Шиятов и др., 2005; Капралов и др., 2006). Исходя из этого, мы считаем возможным использовать контуры границы лесов, имеющих сомкнутость крон 35-40%, отображенных на исторических крупномасштабных топографических картах 1950-1960 и 1980-1990 гг. создания, для реконструкции границы древостоев. А контуры древостоев на современных космических снимках было определено визуально, по линии образующее относительно сплошную границу, где крона деревьев покрывает более 35% поверхности земли.

Количественная оценка масштабов изменений площади безлесных участков на склонах горных массивов Крака была проведена с помощью функционала программы "SAS. Planet 160707". Используя инструменты из вкладки «Метки», на основе изображений в слоях с современными (2016 г.) космоснимками субметрового разрешения и картами ГосГисЦентра (М1:25000) около 1986 г. создания были выделены все не покрытые лесом участки. За основу приняты

участки горных степей отмеченных на топографической карте ГосГисЦентра, на которые были наложены контуры границ леса по космоснимкам. По всем трем массивам Крака для сравнения нами было выделены 1471 остепненных участков, суммарной площадью более 11 тыс. га. Для удобства они были сгруппированы на 3 района, отдельно Северный, Средний и Южный Крака. Для выявления особенностей и более детального анализа зарастания горных степей древесной растительностью, каждый из них был разделен на несколько подрайонов, отдельно каждый обособленный горный узел (рисунок 5). Всего было выделено 47 подрайонов. Для каждого участка были оценены их площадь в 1986 г. по историческим топографическим картам ГосГисЦентра и по космическим снимкам 2015 г. Площади участков взяты из блока программы «Информация о метке».

Для более детального исследования и сравнительно анализа изменения границы лесов по другим картографическим материалам была проведена оценка по разновременным материалам лесоустройства. Для этого в подрайонах, на которых были заложены высотные профили и на части смежных, близлежащих горных узлов, в программном пакете «Photoshop SC5», контуры выявленных безлесных участков по топографическим картам ГосГисЦентра были совмещены с максимальной точностью в различных слоях с контурами выделов горных степей, отмеченных на планах лесонасаждений созданных при проведении лесоустройств разных лет. Для массива гор Южный Крака использованы картографические материалы лесоустройств (планшеты М 1:10000) на территории Башкирского заповедника в 1941, 1969 и 1979 гг., которые сохранились в архиве заповедника. Данные о размере выделов были взяты из базы таксационных описаний. Для горного массива Северный Крака мы воспользовались материалами лесоустройств Авзянского и Белорецкого лесничеств, проведенных в 1989, 2002 гг. и 1991, 2004 гг., соответственно (граница лесничеств проходит по середине массива Северный Крака).

3.3.2 Закладка высотных профилей

Для более детального изучения пространственно-временной динамики древесной растительности, осуществлялось маршрутное обследование района исследований. При закладке высотных профилей подбирались участки склонов, не подвергавшиеся пожарам последние 80-100 лет (негоревших участков в районе исследования практически нет) и антропогенному воздействию, согласно «принципу отбора местообитаний» при проведении дендроклиматических исследований (Шиятов, 1973).

Участки, пройденные пожаром, были выявлены в первую очередь визуально (по следам пожаров на стволах, отсутствию можжевельниковых кустов и молодняка деревьев), а также по предоставленным архивным материалам Авзянского и Белорецкого лесничеств для Северного Крака, по данным «Летописи природы» и другим материалам Башкирского заповедника для Южного Крака.

На выбранных склонах закладывались высотные профили, в пределах которых фиксировались три высотных уровня по категориям экотона: первый или верхний – с границы отдельных деревьев до верхней границы редин; средний или второй – с границы редин до верхней границы редколесий; нижний или третий – с редколесий до верхней границы сомкнутых лесов. На различных высотных уровнях в переходной зоне лес–горная степь в полевой сезон 2015 и 2018 гг. были заложены серии пробных площадей или полигоны. На верхней границе редин были заложены полигоны размером 1-3 га, а на верхней границе редколесий и сомкнутых лесов – по 3 пробные площади, на каждом уровне. На профиле V склона горы Суртанды было выделено еще один дополнительный уровень, на 50 м ниже границы сомкнутых лесов, где было заложено 2 пробные площадки. Пробные площадки были заложены квадратной формы размером 20×20 м. Для выявления комплекса факторов действующих на древесную растительность произрастающую на исследуемом участке площадки располагали в условиях наиболее полно характеризующих изучаемый склон по увлажнению, крутизне, эдафическим условиям, на более выровненных, типичных участках

мезорельефа. На склоне горы Башарт был заложен профиль-полигон в виде прямоугольника 360×200 м, без деления на уровни из-за невозможности выделения высотных уровней. На данном участке древесные растения располагаются крайне неравномерно. Отдельные деревья и группы деревьев мозаично распределены на протяжении всего склона. Постепенный переход от сомкнутых лесов к горным степям здесь отсутствует. Данный профиль интересен, тем что в окружении крупных, старовозрастных деревьев или биогрупп происходит активное возобновление развитие молодняка деревьев, постепенное зарастание безлесных пространств.

Координаты центра каждой площадки фиксировали прибором GPS, описывали особенности склона, рельеф, крутизну и экспозицию склона. На пробных площадях 20×20 м и полигонах для каждого отдельного дерева определяли следующие характеристики: вид, точное местоположение в пределах обследованной территории, высоту дерева, диаметр ствола у основания и на высоте груди, диаметр проекции кроны по двум направлениям и ее протяженность (рисунок 2). Оценивали жизненное состояние по 5 бальной системе: 1–усохшее; 2 – усыхающее, но еще живое; 3 – больное; 4 – здоровое с некоторыми повреждениями части кроны или верхушки ствола; 5 – здоровое.

3.3.3 Определение возраста деревьев по радиальным кернам древесины

Для определения времени появления деревьев на всех обследованных пробных площадях и полигонах у каждого живого дерева диаметром ствола более 3 см брался керн на высоте 2-25 см при помощи возрастного бура. Деревья в неблагоприятных условиях имеют сильную эксцентричность ствола, для получения образца удовлетворительного качества, дерево нередко приходилось сверлить несколько раз, для удобства сверление производилось с нижней стороны склона (рисунок 2).



Рисунок 2 – Закладка высотных профилей и бурение деревьев
возрастным буром

Для установления возраста дерева на уровне основания ствола у 30% деревьев меньше 3 см брали поперечный диск у шейки корня. Используя возраст таких деревьев и высоту их стволов, мы рассчитали уравнение регрессии для зависимости между этими показателями, по которому вычислили время достижения каждым обследованным и пробуренным деревом высоты отбора образцов (рисунок 3).

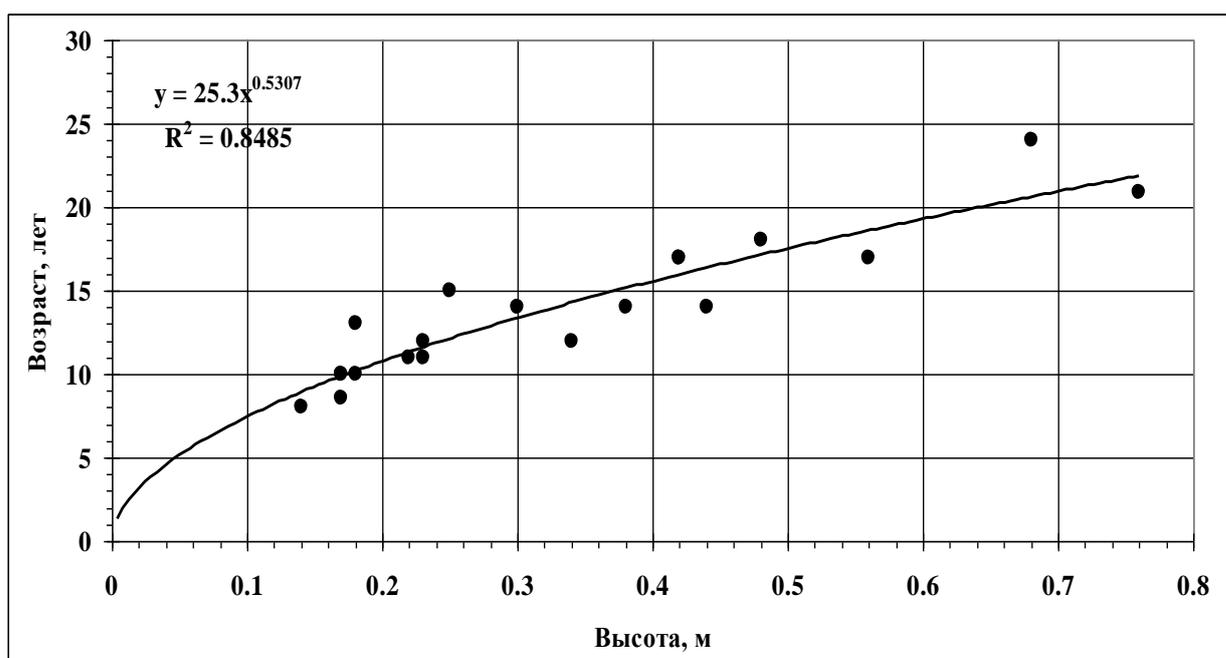


Рисунок 3 – Соотношение высоты и возраста подроста

Для предохранения от деформации собранные керны помещались в специальные футляры. На футлярах отмечалось: название профиля и площадки, дата сбора, код образца, отражающий вид, номер дерева и высоту взятия образца. До обработки керны хранили в морозильной камере.

В лабораторных условиях керны с помощью термоклея наклеивались на деревянную основу так, чтобы волокна располагались перпендикулярно наклеиваемой поверхности. Вся информация о керне переносилась с футляра на основу. В экстремальных условиях гор ширина годичных колец в отдельные годы бывает очень узким. Для отчетливого определения границы колец во время измерений, поверхность предварительно размоченных водой кернов подрезалась с помощью острого режущего инструмента. После подрезки керны высушивались, и поверхность контрастировалась посредством втирания зубного порошка.

Если полученные керны не достигали сердцевины ствола, то для определения времени формирования центрального кольца сначала определяли радиус дуги, образуемой самым 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. У всех образцов древесины на установке LINTAB-III измерялась ширина годичных колец, а при помощи программного обеспечения TSAP-3.0 датировался год формирования самого ближнего к центру годичного кольца.

3.3.4 Измерение глубины снега и запаса влаги в нем

В литературе указано, что в зоне дефицита влажности весной в начале вегетационного сезона содержание влаги в почве очень сильно зависит от количества твердых осадков, выпавших в предшествующий зимний период (сентябрь-апрель). При этом многое зависит от степени и глубины промерзания почвы, и расход на поверхностный сток. Насыщение почвы влагой за счет таяния

твердых осадков (снега) в значительной мере зависит от ее мощности и влагоудерживающих свойств. В горных условиях «потери» влаги зимних осадков на поверхностный сток и испарение бывают довольно значительными (Урал и Приуралье, 1969; Балков, 1978; Sato et al., 2016).

Для выяснения характера залегания снежного покрова и содержащихся в нем запасов влаги, на высотных профилях проведены снегомерные работы. Снегосъемка и оценка содержания влаги в толще снега выполнялись в конце февраля в начале марта, во время максимальной глубины снежного покрова и содержания влаги в нем. На каждом профиле описывали характер залегания снежного покрова. Глубина снега фиксировалась с помощью снегомерной рейки с шагом 1 см. Рейку втыкали в снег строго вертикально, а не перпендикулярно поверхности склона. Для определения характера залегания и распределения снежного покрова по всей поверхности профиля, измерение глубины снега проводилась 3-4 прохода поперек склона и 1 проход вдоль. Вдоль склона маршрут начинался ниже на 10-20 метров границы сомкнутых насаждений (3 уровень) и доходил наверху до гребня склона. Поперек склона, снегосъемка проводилась по всей ширине профиля, на каждом высотном уровне по одному проходу. На верхнем уровне посередине профиля, на втором и третьем уровнях проходила по заложенным пробным площадкам. Взятие проб глубины снега проводили через каждые 2-4 метра, около 100 проб за каждый проход.

Плотность снега определяли с помощью снегомера ВС-43, весовым путем. Перед началом работы проводили поверку прибора, путем взвешивания пустого снегозаборника. Определение плотности проводилась в не менее трех точках на различной глубине в каждом высотном уровне профиля. На верхних уровнях в начале, в середине и в конце маршрута измерения глубины снега. На втором и третьем уровнях в середине пробных площадок. Забор снега для определения плотности снега производился на участках без видимых нарушений структуры снега, при сомнительных результатах забор образца снега проводилось повторно в непосредственной близости. По глубине и плотности можно вычислить запас

воды в снежном покрове, т. е. высоту слоя воды, который образуется при таянии снега. Он рассчитывается по формуле:

$$A = 10 \times H \times D,$$

где A – запас воды в снеге; D – плотность снега; H – высота пробы снега; 10 – множитель для перевода сантиметров в миллиметры.

3.3.5 Измерение мощности и влажности почвенного профиля

Определение влажности почвы проводилась в полевой сезон 2018 г., два раза на каждом профиле. Первый раз в начале и первой половине вегетационного периода (в июне). В это время происходят наиболее активные ростовые процессы и развитие древесных растений, второй раз в конце вегетационного периода (в августе), для контроля. Содержание влаги в почве определяли с помощью электронного влагомера HH2 Moisture Meter фирмы Delta-T с датчиком влажности почвы ML3 ThetaProbe (рисунок 4).

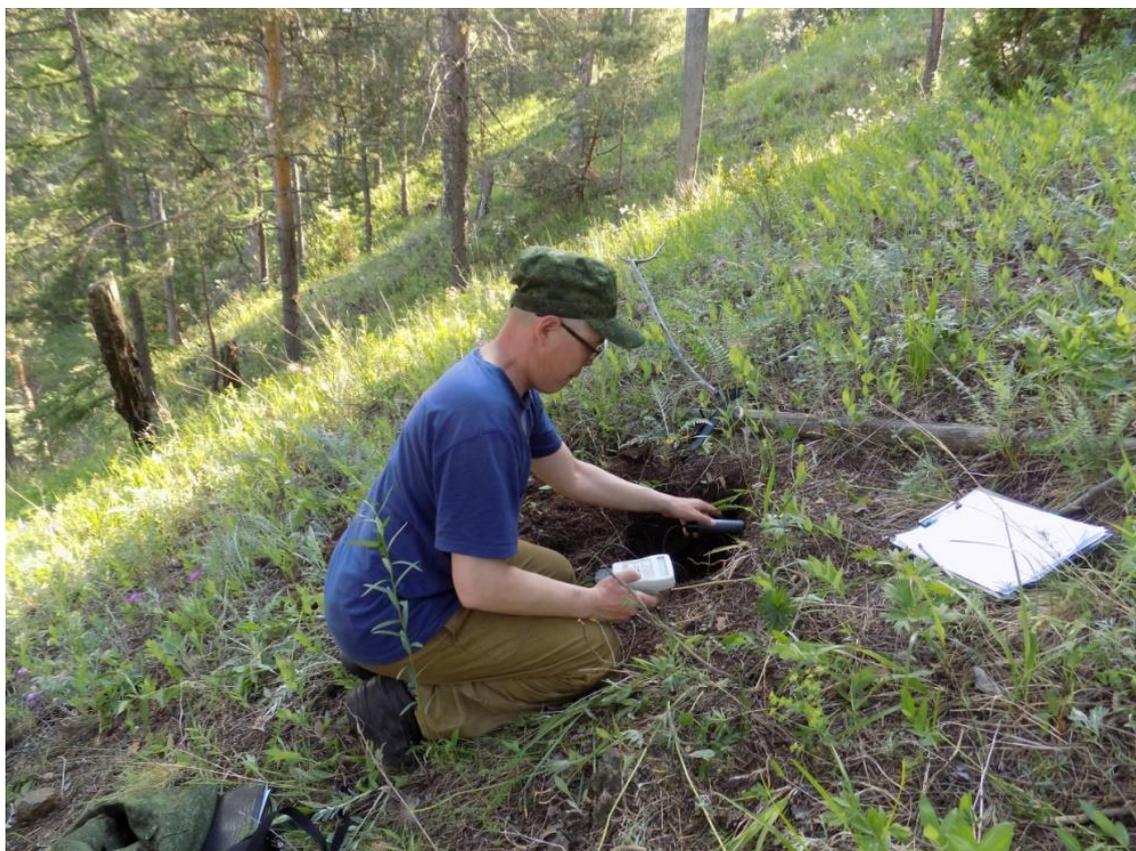


Рисунок 4 – Измерение влажности почвы на почвенных разрезах

Измерение влажности почвы проводили на каждом высотном уровне, на 3-х учетных площадках размером 20×20 м. На втором и третьем высотном уровнях они совпадали с заложенными пробными площадками, а на верхнем уровне учетные площадки, равномерно распределяли вдоль склона по срединной линии полигона. На учетных площадках по центральным линиям слева направо и снизу вверх измеряли влажность, на поверхности почвы и на глубине 10 см (по 10 проб на линию). Кроме того для определения влажности по всему почвенному профилю учетные площадки были разделены на 4 квадрата размером 10 на 10 м., на них в центре, закладывались почвенные разрезы до материнской породы. На почвенных разрезах проводили по десять измерений в каждом из 3-4 слоев почвы: на поверхности почвы (слой 0-5 см), на глубине 10, 20 и 30 см (если глубина почвы позволяла). Одновременно проводили описание почвенного профиля и определяли мощность почвенных горизонтов.

3.3.6 Анализ климатических изменений

Существуют исследования, указывающие на весьма разнообразную метеорологическую ситуацию даже в пределах однородной климатической области (Сочава, 1978). По результатам многочисленных исследований показано, что от локальных климатических факторов зависит рост и развитие древесных растений в экстремальных почвенно-климатических условиях (Сизых, Воронин, 2013; Vale, 1981; Rochefort, Peterson, 1996; Zhang et al., 2019).

Изучение динамики средних месячных температур воздуха, количества осадков и глубины снега было проведено нами по данным метеостанций «Башгосзаповедник» географические координаты 53°20' с.ш., 57°47' в.д., высота над уровнем моря 484 м, для сравнения использованы данные близлежащих метеостанций Белорецк (53°20' с.ш., 57°47' в.д., 563 м), Тукан (53°51' с.ш., 57°28' в.д., 553 м) и Верхнеуральск (53°54' с.ш., 59°12' в.д., 402 м над уровнем моря, соответственно).

3.3.7 Отбор, рубка и определение фитомассы модельных деревьев

Материал для изучения структуры и запасов фитомассы древостоев собран в 2019-2020 гг. в переходной полосе непосредственной близости высотных профилей Суртанды и Большой Башарт. В массиве гор Крака, где подобного рода исследования ранее отсутствовали и с чрезвычайной трудоемкостью выполняемых работ в горных условиях, выборка модельных деревьев производилась только во втором высотном уровне, выше границы сомкнутых насаждений. Для первичной оценки и выявления специфики формирования фитомассы древостоев, распределения по фракциям, а также ее увеличения, в связи с изменениями границы лесов являются вполне приемлемыми. Эти данные мы использовали для расчета во всех высотных уровнях и исследуемых профилях. Выбор, рубка и обработка модельных деревьев производилась согласно методическим рекомендациям В.А. Усольцева и З.Я. Нагимова (Усольцев, Нагимов, 1988).

Отбор модельных деревьев производился по всему диапазону варьирования диаметров на пробных площадках без предварительного определения размеров. Стремилась брать деревья из самой тонкой и самой толстой ступеней толщины. Такой принцип отбора является наиболее подходящим для исследования зависимостей массы различных частей деревьев от их размерных показателей (диаметра, высоты и др.). Рубка деревьев осуществлялась к концу активных ростовых процессов, когда содержание влаги в тканях стабилизируется.

У модельных деревьев кроме традиционных таксационных показателей (диаметра у основания и на высоте груди, высоты, сбег и объема) определялась надземная фитомасса с подразделением на следующие фракции: ствол в коре, ветви, хвоя и генеративные органы. Фитомасса стволов в коре определялась непосредственным взвешиванием на электронных весах с точностью 50 г. Для определения содержания абсолютно сухого вещества в древесине и коре выпиливались диски с торцов распиленных секций. Древесина и кора с дисков в лесу взвешивались с точностью до 0,1 г, затем в лабораторных условиях

сушились в термостатах при температуре 100-105 °С до постоянного веса. По результатам взвешивания древесины и коры дисков до и после сушки определялось содержание абсолютно сухой массы этих фракций в сырой навеске и в целом для ствола

Общая фитомасса крон, которая включает: ветви; хвою; генеративные органы определялась после обрубки всех веток на электронных весах с точностью до 50 г (при мелких кронах до 5 г). После этого производилось деление кроны на следующие фракции: отмершие ветви (в кроне), неохоенные части и охоенные части живых ветвей. После определения веса каждой фракции из охоенной части живых ветвей формировалась модельная часть, то есть отбиралась навеска (до 20-30% по весу от общей массы фракции) для установления соотношения хвои и древесных частей. С этой целью хвоя в навеске отделялась от ветвей и определялась масса каждой фракций с точность до 1 г. По установленным соотношениям в навеске определялась масса хвои и древесных частей для всей кроны. Для установления влажности и абсолютно сухого веса хвои и ветвей отбирались их образцы (30-60 г по весу), которые сразу же взвешивались с точностью до 0,1 г. В лабораторных условиях образцы древесины и коры ветвей, а также хвои высушивались в сушильном шкафу (ШСП-0.25-100) при температуре 106 °С до постоянного веса. По результатам сушки на основе соответствующих расчетов определялось содержание абсолютно сухой массы этих фракций.

По изложенной методике нами отобраны и обработаны 16 модельных деревьев сосны и 12 – лиственницы.

Фитомассу деревьев целесообразно оценивать на основе уравнений, описывающих закономерные связи их между весовыми и размерными показателями. Пределы изменения таксационных показателей, которые, как правило, используются в качестве независимых переменных, являются ориентиром при определении области применения разрабатываемых уравнений и расчета общей надземной фитомассы древостоев, произрастающих в различных частях переходной полосы лес–горная степь.

3.4 Объем выполненных работ

Исследовательская работа проводилась с 2015 по 2020 гг. В 2015 г. осуществлялось рекогносцировочное обследование склонов массива Южного и Северного Крака. Были заложены два высотных профиля на Южном Крака на склонах гор Большой Башарт и Башарт. Произведен весь комплекс измерений морфометрических показателей древостоя и подроста, получены буровые образцы со всех живых деревьев и диски с подроста. В 2016 г. были заложены 3 профиля: «Шигай» на хребте Озонгыр, недалеко от д. Шигаево в массиве Северный Крака; на и горе Авдэктэ на Южном Крака и профиль-полигон на горе Башарт. В 2017 г. работа проводилась в массиве Северный Крака, где было заложено 3 профиля на горах Суртанды, Малый Саргая и Акбиик. В целом на всех профилях было заложено 45 пробных площадей общей площадью 1,8 га и восемь полигонов общей площадью более 35 га. Определены таксационные показатели и возраст у более 1700 деревьев и 1300 единиц подроста. В 2018 г. проведено измерение влажности почв на всех исследуемых профилях. В 2018-2020 гг. собран и обработан материал для изучения структуры и запасов фитомассы 16 деревьев сосны и 12 лиственницы. Каждый год проводились снегомерные работы. Проанализированы данные метеостанций. Схема расположения заложённых высотных профилей показана на рисунке 5.

Обработку экспериментальных данных проводили с помощью табличного редактора «Excel»; статистический анализ в программе «Статистика»; разметка контуров и выявление площади безлесных участков на горных степях осуществлялись с использованием «SAS. Planet 160707» и «Photoshop SC5».

Результаты исследований, математических расчетов и анализа приводятся в соответствующих главах и приложениях настоящей работы.

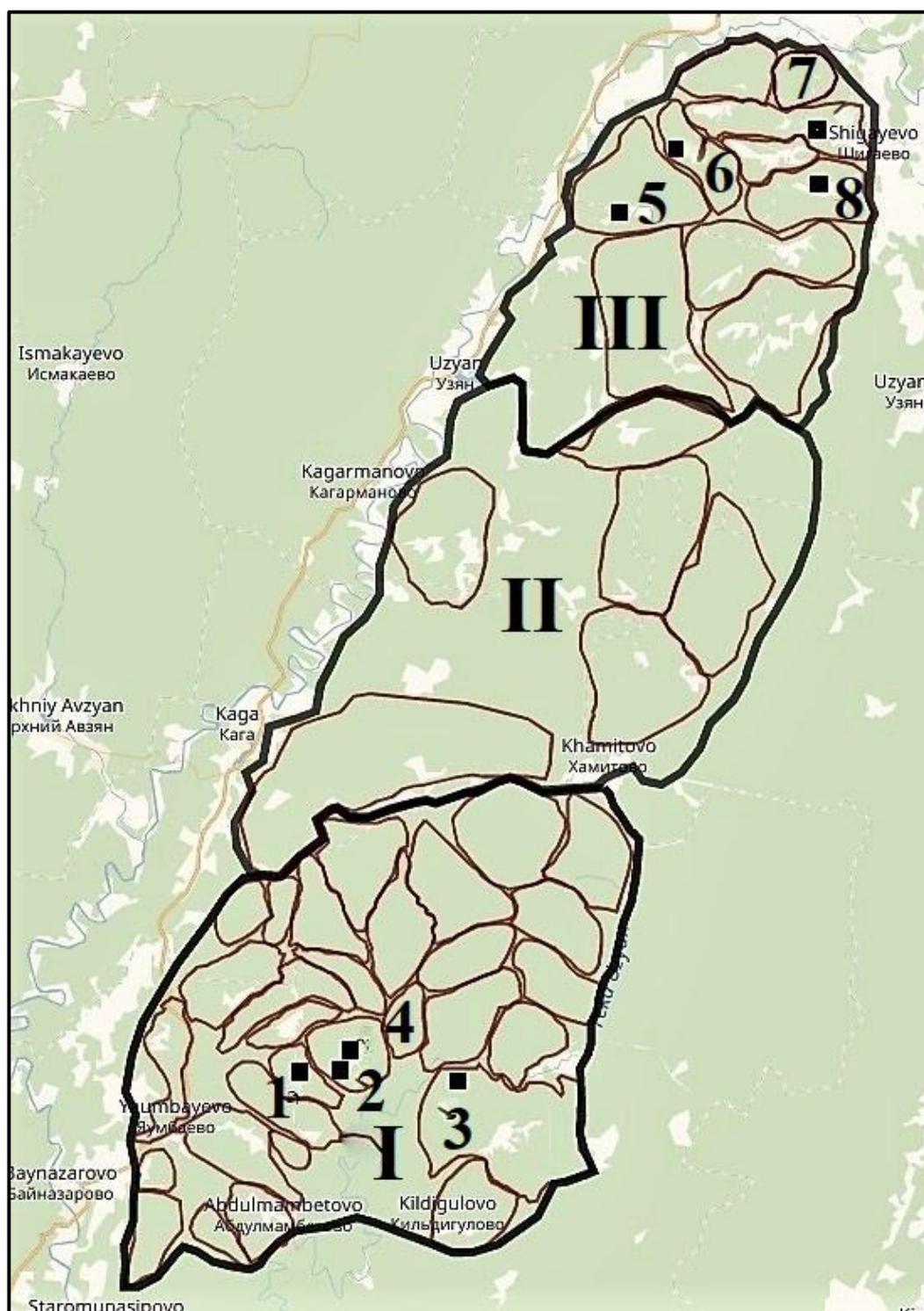


Рисунок 5 – Схема расположения высотных профилей с выделенными подрайонами. Римскими цифрами показаны массивы: I – Южный Крака; II – Средний Крака; III – Северный Крака. Арабскими цифрами обозначены высотные профили: 1 – Большой Башарт; 2 – Башарт; 3 – Авдэктэ; 4 – профиль-полигон Башарт; 5 – Суртанды; 6 – Малый Саргая; 7 – Шигай; 8 – Центральный Акбиик

4. СОСТАВ И СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ НА ОСТЕПНЕННЫХ СКЛОНАХ МАССИВА КРАКА

4.1 Особенности склонов и таксационная характеристика древостоев экотоне лес–горная степь

Горные степи и остепененные участки расположены, как было сказано выше, на южных склонах, где жесткие условия микроклимата являются препятствием для формирования древесной растительности. Профили расположены по экспозиции склона: преимущественно восточный – профиль 8 – Центральный Акбиик; южный и юго-восточный – профили 1 – Большой Башарт; 2 – Башарт; 5 – Суртанды; 6 – Малый Саргая и 4 – Профиль-полигон; юго-западный – профили 3 – Авдэктэ и 6 – Шигай. В силу сильной расчлененности и орографическим особенностям, строго ориентированных по экспозициям склонов практически нет. Влияние экспозиции на структуру и надземную фитомассу древостоев в данной работе не учитывалось.

На исследуемых участках склоны круче в целом на Южном Крака, где на верхних уровнях крутизна во всех профилях составляет выше 30°. На Северном Крака крутизна меньше, только на профиле Шигай достигает 30°. По мере продвижения от верхнего уровня к нижнему крутизна склона постепенно снижается, составляя на третьем высотном уровне 15-25°. Но на склонах встречаются отдельные участки, где крутизна намного превышает средний показатель по профилю и достигает до 45°. Только на профиле 8 – Центральный Акбиик наблюдается противоположенная картина, крутизна уменьшается от нижнего уровня к верхнему (таблица 4.1).

Профили расположены на высоте над уровнем моря 575-810 м на Южном Крака и 620-900 м на Северном Крака. Граница сомкнутых лесов находится на высоте 650-700 м, в зависимости от крутизны опускается вниз по склону до 580 м. Редины расположены на высоте 680-720 м, выше 700 м над уровнем моря расположены безлесные участки с единичными деревьями. Такая картина, с не

Таблица 4.1 – Характеристика древостоя на различных высотных уровнях обследованных профилей на склонах горных массивов Крака, Южный Урал

Высотный уровень	Высота над уровнем моря, м	Крутизна на склоне, градусы	Количество шт./га			Морфометрические показатели (сред.±станд.откл.)				
			древостой		подрост	диаметр у основания, см	высота, м	возраст, лет	диаметр кроны, м	площадь покрытия кроны, м ² /га
			живых	мертвых						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Массив Южный Крака										
Профиль 1 – гора Большой Башарт										
1-2	810-730	30-35	29,0	5,2	8,6	32,1±9,3	9,5±2,4	152±54	5,2±1,5	689
3	700-690	25-30	933,0	283,0	950,0	16,4±8,6	8,7±4,4	74±40	2,8±1,3	7157
Профиль 2 – гора Башарт										
1	750-715	25-30	20,0	-	2,4	24,8±13,9	8,0±4,1	138±64	4,3±2,0	390
2	715-705	20-25	537,5	50,0	137,5	20,8±12,8	7,9±4,5	99±60	3,2±1,4	6118
3	680	20-25	1125,0	112,5	875,0	14,7±11,6	7,5±5,7	80±56	2,9±1,6	11407
Профиль 3 – гора Авдэктэ										
1	650-610	25-30	39,0	1,0	11,0	29,3±14,7	10,4±4,8	131±61	5,3±2,5	1066
2	595-580	20-25	850,0	58,3	1533,3	11,2±8,8	5,2±4,9	46±25	2,4±2,0	7609
3	575	20-15	616,7	91,7	433,3	24,7±10,6	13,8±5,0	93±32	4,4±2,1	11559
Профиль-полигон 4 – гора Башарт										
1-2	800-700	25-30	33,9	2,8	5,7	28,0±15,8	9,7±5,7	136±72	4,5±2,2	594

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Массив Северный Крака										
Профиль 5 – гора Суртанды										
1	760-730	20	9,9	0	33,8	7,2±5,5	2,8±3,0	30±18	1,7±1,2	76
2	720-680	20-30	708,3	150,0	1033,3	9,9±7,7	4,9±3,5	39±19	2,1±1,7	8455
3	680-650	20-25	1025,0	216,7	708,3	12,1±9,5	6,9±4,8	51±25	2,3±1,9	12291
4	650-620	20-15	891,7	41,7	66,7	17,9±5,1	12,6±3,1	70±8	3,0±1,2	12263
Профиль 6 – гора Малый Саргая										
1	700-650	25	13,8	2,6	11,0	17,8±11,8	6,5±4,1	46±22	3,6±2,2	739
2	660-630	25	358,3	8,3	250,0	15,3±10,7	8,7±5,9	48±25	3,1±2,4	9829
3	620-640	20	933,3	83,3	366,7	16,5±10,9	10,1±6,1	58±27	3,0±2,2	15028
Профиль 7 – Шигай										
1	900-780	30	43,5	1,2	38,2	12,8±9,0	3,4±2,8	47±20	1,9±1,4	369
2	770-750	30-25	308,3	275	600,0	16,0±11,0	6,4±5,9	51±23	2,2±1,9	8623
3	730-700	20	1066,7	491,7	325,0	22,9±8,9	11,8±4,4	87±25	4,0±1,9	11039
Профиль 8 – гора Центральный Акбиик										
1	750-710	10-15	17,1	4,0	27,6	12,1±9,7	3,7±3,4	29±19	2,1±1,6	242
2	700-690	20	433,3	16,7	566,7	8,9±8,9	4,3±4,3	31±26	1,7±1,6	4509
3	690-650	20	958,3	25,0	133,3	16,2±11,3	9,6±5,3	60±13	3,3±1,9	12709

большими отклонениями, характерна практически для всех склонов южных экспозиций массива Крака (таблица 4.1).

В результате анализа морфометрических параметров деревьев было получено общее представление о древостое на исследуемых участках. Для этого было подсчитано количество живых деревьев, сухостоя и подроста. Для живых деревьев были рассчитаны средние значения таких параметров, как диаметр ствола у основания, высота ствола, диаметр крон, площадь проективного покрытия кроны. К подросту относили деревья высотой до 1,5 м.

В составе исследованных насаждений преобладает сосна. На профилях массива Южный Крака средние морфометрические показатели деревьев увеличиваются от нижнего уровня к верхнему (см. таблицу 4.1). Так, средний диаметр деревьев на верхнем уровне составляет 24,8-32,1 см., при средней высоте 8,0-10,4 м, и возрасте 131-152 лет. Небольшая высота, выраженный сбег ствола деревьев характерна для жестких условий роста, близких к пределу выживания. Здесь в отличие от районов, где продвижение леса выше в горы лимитирующим фактором выступает недостаток тепла, рост и зарастание лесом горных степей сдерживает дефицит влаги. Поэтому на первом высотном уровне произрастают единичные старовозрастные деревья, которые в свое время закрепились на этих склонах, а количество жизнеспособного подроста составляет всего лишь 2,4-11,0 шт./га. Очевидно, в экстремальных условиях дефицита влаги из многочисленных проросших особей выживают только те, которые попали в более мягкие микроклиматические условия произрастания (тень в дневное время, микропонижение и т.д.) и в благоприятный период на ювенильном этапе онтогенеза. По мере продвижения ниже по склону и при существенном улучшении условий роста в составе появляется много молодых деревьев, и их количество увеличивается в 15 раз на среднем уровне и в 56 на нижнем уровне, в результате чего средние показатели древостоев меняются, уменьшается средний возраст, диаметр и высота. Количество подроста так же увеличивается.

На профилях массива гор Северный Крака структура распределения в экотоне и показатели деревьев существенно отличаются от Южного Крака. Здесь

средние морфометрические показатели деревьев наоборот уменьшаются от нижних частей склона к верхним. Если средний диаметр у основания деревьев на нижнем уровне составляет 16,2-20,2 см, то на среднем и верхнем уровне – 8,9-13,9 см и 7,2-12,8 см соответственно. Аналогичная картина наблюдается с показателями средней высоты и возраста. Надо отметить, на профилях массива Северный Крака на верхнем высотном уровне практически отсутствуют старовозрастные деревья, зарастание здесь начало происходить только в последние 50 лет, о чем свидетельствует средний возраст деревьев, который составляет около 35 лет. На наш взгляд это связано с тем, что горы Северного массива в среднем на 50 м выше и здесь наблюдаются более жесткие условия для роста древесных растений, чем на Южном Крака.

Так же на Северном Крака густота деревьев падает с увеличением высоты. На верхнем уровне оно колеблется в пределах от 9,9 (на профиле 5 – Суртанды) до 43,5 шт./га (на профиле 7 – Шигай), на среднем уровне количество живых деревьев увеличивается в 7-70 раз, а на нижнем уровне в 24-103 раз.

Заметно, что на основной массе заложенных профилей подроста больше в редирах, чем на границе сомкнутых лесов, в среднем по всем профилям в 1,5 раза. Это связано с тем, что на среднем уровне слабее конкуренция со стороны молодого более разреженного материнского полога, чем в сомкнутых насаждениях на нижнем уровне, под кронами создаются благоприятные микроклиматические условия для прорастания семян и последующего выживания подроста. Этим подтверждается соотношение взрослых деревьев и подроста на четвертом уровне, в прилегающем снизу к верхней границе сомкнутых лесов профиле Суртанды, где при большей сомкнутости древесных растений, падает количество не только подроста, но и взрослых деревьев.

Площадь проективного покрытия крон древостоев так же закономерно уменьшается по мере продвижения вверх по склону, причем наиболее заметное уменьшение характерно при переходе от среднего уровня к верхнему.

Степень варьирования средних морфометрических показателей деревьев на исследуемом участке отражает величина стандартного отклонения. Большой

разброс измеряемых признаков свидетельствует о том, что на всех уровнях присутствуют деревья различной величины и возраста и формирование древесной растительности на склоне шло постепенно. Относительно небольшие показатели варьирования среднего диаметра, высоты и возраста характерны для первого уровня профиля 1 – Большой Башарт и четвертого уровня профиля Суртанды, по причине отсутствия молодняка в структуре леса, о чем будет сказано ниже.

4.2 Относительная высота деревьев на исследуемых профилях

Выявлено, что дифференциация деревьев и конкурентные взаимоотношения наиболее полно оцениваются при помощи относительной высоты (отношение высоты к диаметру). Относительная высота древостоев зависит от напряженности конкуренции в насаждении, уровня освещенности, вида и возраста деревьев (Санников, 1963; Мелехов, 1980; и др.). Деревья растущие отдельно имеют раскидистую крону, небольшую высоту, сучковатость и сильный сбег ствола. Деревья расположенные в сомкнутом лесу имеют небольшую крону расположенную в верхней части, высокий цилиндрический ствол, небольшим количеством ветвей. Вместе с тем установлена зависимость этого показателя и от других факторов среды – эдафических и климатических (Нестеров, 1960). В неблагоприятных условиях при приближении к пределу существования относительная высота деревьев закономерно снижается, увеличиваясь с улучшением и достигая максимума при оптимальном наборе факторов.

По данным многих исследователей в сомкнутых древостоях показатель относительной высоты у большинства деревьев превышает 100. Поэтому относительную высоту можно рассматривать как важный признак, характеризующий взаимоотношения растений между собой и со средой. Изменяясь под влиянием условий среды, относительная высота оказывается тесно связанной с составом и густотой древостоев, что позволяет использовать ее для оценки межвидовых и внутривидовых отношений деревьев.

На рисунках 6, 7 представлено фактическое распределение деревьев на всех профилях отдельно по массиву Южный и Северный Крака по показателю относительной высоты по высотным уровням. На графиках видно, что распределение деревьев по величине относительной высоты, по отдельным ступеням, очень неравномерное. Особенно это заметно на верхнем уровне. Смещение графика в сторону уменьшения относительной высоты, объясняется редким распределением деревьев, суровостью окружающей среды. На первом уровне около половины деревьев имеют относительную высоту 40-60, а на Южном Крака имеют 21-40 (рисунок 6).

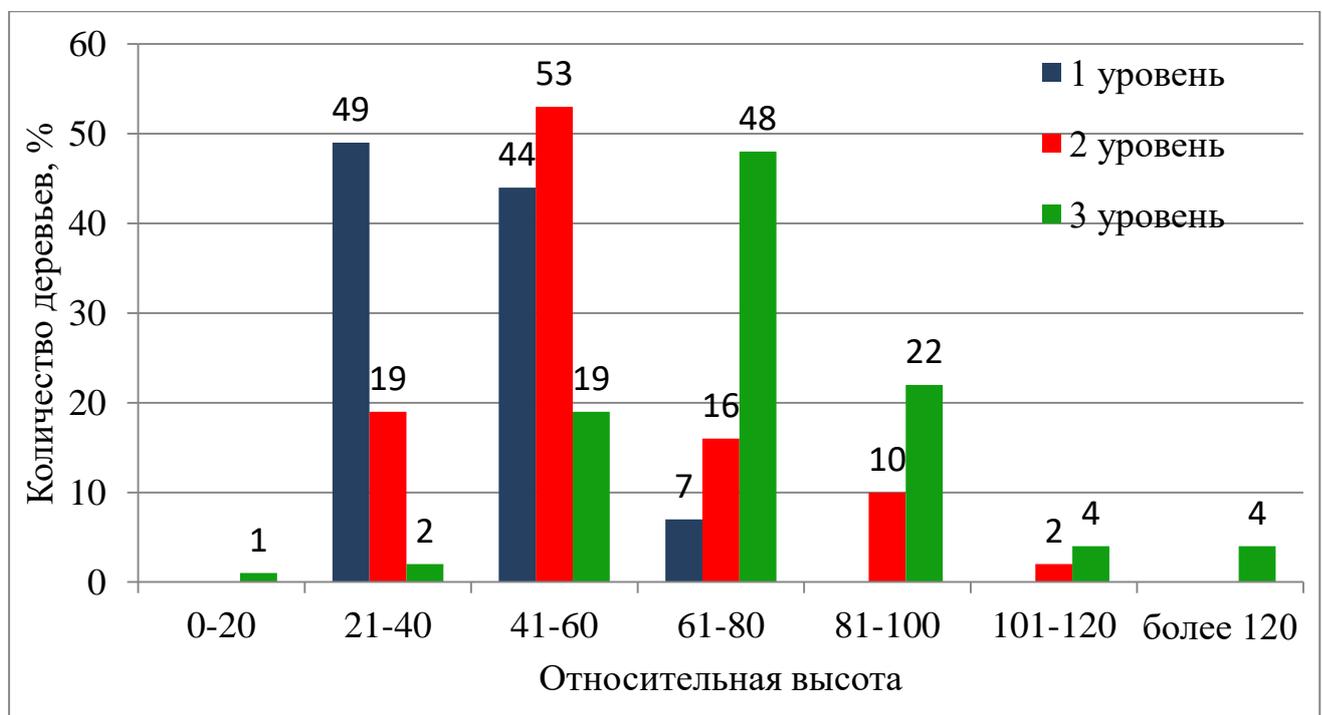


Рисунок 6 – Распределение деревьев по показателю относительной высоты на исследуемых профилях в массиве Южный Крака

У деревьев на нижних высотных уровнях относительная высота увеличивается. Так, на среднем и верхнем уровне, большинства деревьев относительная высота находится в пределах 41-60 и 61-80 соответственно. На нижнем уровне в древостое присутствуют деревья имеющие относительную высоту более 100. По литературным данным в сомкнутых древостоях разных пород этот показатель у большинства деревьев превышает 80 (Высоцкий, 1962).

На массиве Северный Крака наблюдается такая же картина, но максимальное количество деревьев имеет относительную высоту 60-80, что больше чем на Южном Крака. В целом на Северном Крака относительная высота деревьев выше, чем на Южном (рисунок 7).

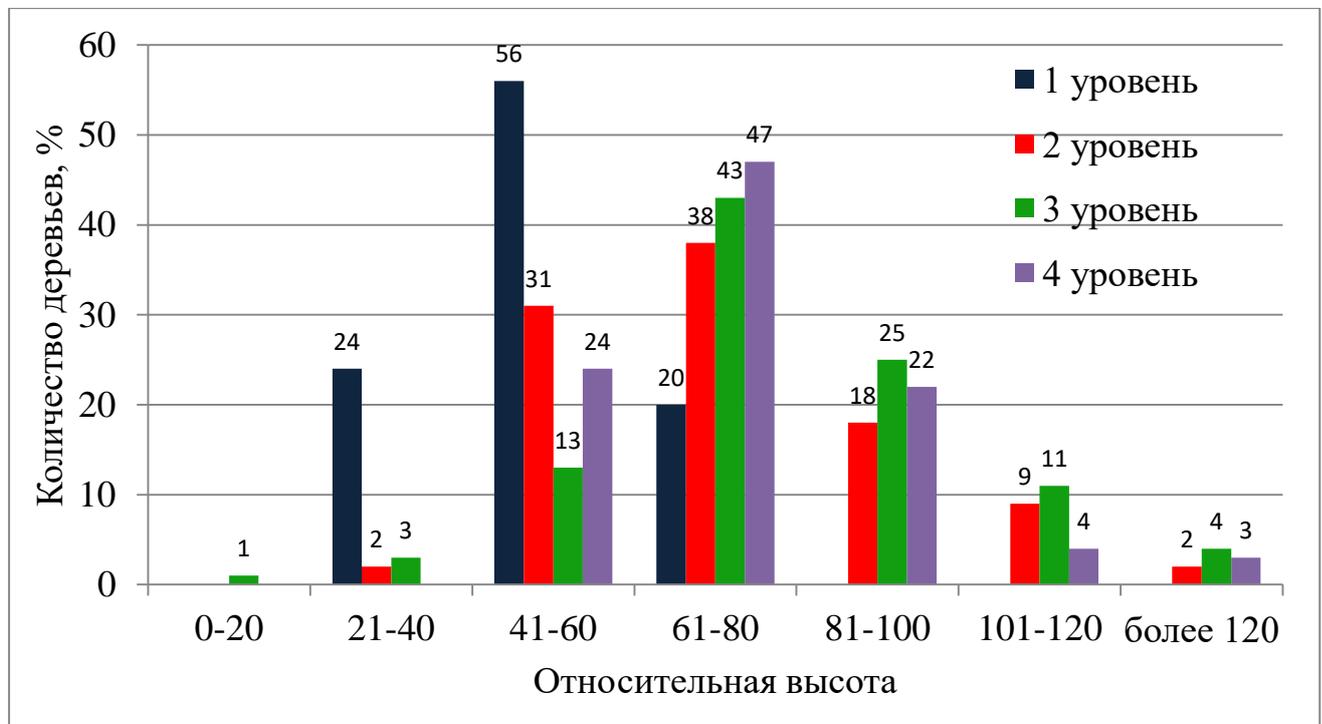


Рисунок 7 – Распределение деревьев по показателю относительной высоты на исследуемых профилях в массиве Северный Крака

Резюмируя вышесказанное, можем сказать вывод о том, что на склонах массива Крака, насаждения на всех уровнях представлены абсолютно разновозрастными древостоями, в которых выделяются несколько возрастных поколений деревьев. Амплитуда варьирования возраста деревьев выше на Южном Крака. Характер распределения деревьев по таксационным признакам существенно различается по высотным уровням. Несмотря на жесткие условия роста, просматривается высокая гетерогенность структуры изучаемых древостоев, что свидетельствует об их высокой стабильности. На среднем уровне создаются наиболее благоприятные условия для появления и роста подроста. А на верхнем уровне подрост появляется исключительно на участках, защищенных покровом кроны старовозрастных деревьев, где исключена прямая солнечная инсоляция в

самое жаркое время дня. Относительная высота деревьев закономерно снижается от верхних частей склона к нижним, где растет сомкнутость древостоев и улучшаются условия для роста.

4.3 Определение календарной даты появления деревьев и подроста, анализ возрастной их структуры древостоев.

Ошибки при определении абсолютного возраста по буровым кернам возникают, по причине, что в горах явление эксцентриситета особенно выражено и центр ствола во многих случаях не соответствует геометрическому, буров не всегда при сверлении проходит строго через анатомический центр ствола. Так же из-за различия во времени достижения подростом высоты бурения и ошибки в определении расстояния от гипокотилия до высоты бурения (положение гипокотилия относительно микроэлементов рельефа с увеличением возраста дерева меняется). Затруднения возникают при стволовой гнили, выпадения или образования в отдельные годы ложных колец. В таких случаях приходится прибегать к расчету числа годичных колец с учетом возможного их количества и возможной ширины на недоступном для анализа участке древесины.

Известно, что урожайность семян хвойных пород на Южном Урале происходят через каждые (3-5 лет), между интервалами урожайных лет, появляется очень мало деревьев (Санников, Санникова, 1985). Вследствие этого, для получения более надежных результатов все деревья на пробных площадях были объединены в 5-летние возрастные группы.

В результате анализа возрастной структуры древостоев нами было установлено, что на исследуемых участках в массиве Южный Крака, первые деревья, которые сохранились на сегодняшний день, появились в 1750 г. на профиле-полигоне 4 – горы Башарт (рисунок 11). На других профилях период появления первых единичных деревьев приходится на 1770-1805 гг., при этом их количество значительно не отличается на разных высотных уровнях (рисунки 8-15). В массиве гор Крака возрастная структура деревьев в экотоне лес–горная

степь имеет принципиальное отличие от высокогорий на границе леса с горными тундрами. Где граница является экологическим пределом распространения древесных растений, выше которого складываются принципиально иные условия для их жизнедеятельности. На верхней границе леса зарастание происходит только по мере увеличения температуры, лимитирующего рост деревьев. Безлесные остепненные участки массива Крака приурочены к склонам южных экспозиций, их положение, форма и размер может сильно варьировать в пределах небольшого хребта. С северных сторон хребта граница сомкнутых лесов поднимается до самой вершины. Поэтому появление первых деревьев в пределах исследуемых высотных профилей в благоприятный промежуток происходит не только в нижних частях склона, а по всему экотону. В критические периоды, происходит их массовая элиминация. Погибают больше всего деревьев верхних частей экотона, где условия для роста самые жесткие, остаются в живых единичные особи (1-2 шт./га), ниже по склону выживаемость самосева выше (15-20 шт./га) (рисунок 8-15). По мере укрепления первых деревьев, происходит постепенное улучшение среды – накопление и развитие почвы, возникновение благоприятного микроклимата, повышения количества семян, как следствие, интенсификация возобновления и увеличение выживаемости молодняка.

До 1850-1870 гг. возобновление сосны и лиственницы на склонах гор Южного Крака происходило относительно равномерно на всех исследуемых профилях. Далее в возрастной структуре древостоев наблюдается несколько периодов активного возобновления. На профиле 1 – Большой Башарт, первый синхронный период активного формирования поколения деревьев на всех высотных уровнях приходится на 1930-1955 гг., второй на 1980-2000 гг., при этом максимум возобновления произошел на 1990 г., когда на 3 уровне появилось 250 деревьев на 1 га. На первом высотном уровне выявлено уделение возобновления преобладанием лиственницы с 1800 по 1870 гг. с пиком 1825 г., который не проявился на нижнем уровне (рисунок 8). В этот же период некоторый всплеск проявился на первом уровне профиля 3 – Авдэктэ (рисунок 10).

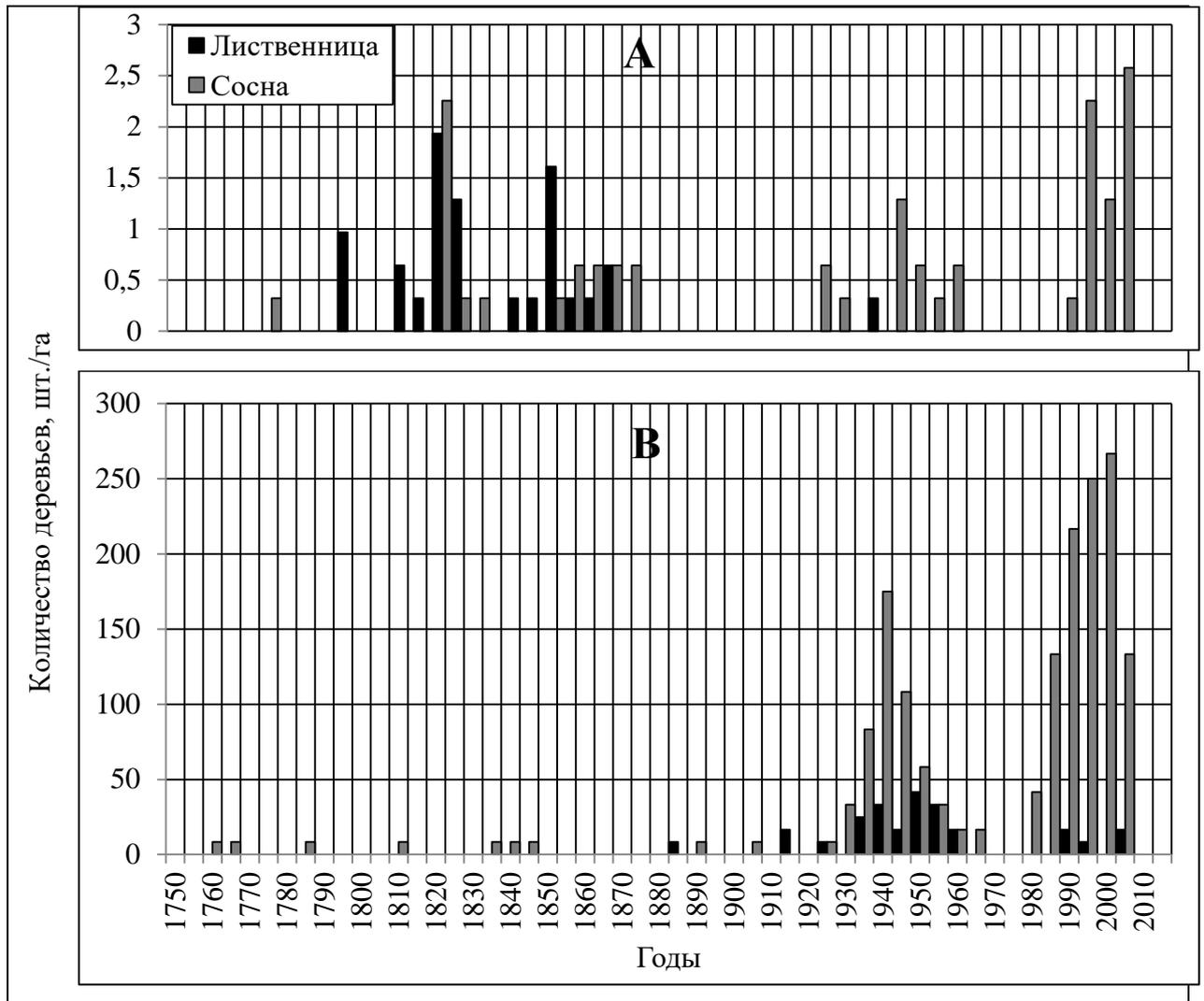


Рисунок 8 – Возрастная структура деревьев на профиле 1 – Большой Башарт на массиве Южный Крак: А – верхний; В – нижний высотный уровень

На профиле 2 – Башарт так же наблюдается два периода активного формирования поколений деревьев. На верхнем уровне появление древесных растений приходится на 1850-1870 гг., а на среднем и нижнем уровне наиболее активное возобновление отмечается в 1860-1880 гг. Вторая волна активного возобновления, которое проявляется на верхнем уровне, не проявляется совсем на среднем уровне, незначительно отражается на нижнем. Вторая волна возобновления на среднем и нижнем уровне была, как и на профиле 1 – Большой Башарт, в 1930-1955 гг. Характерный активный всплеск появления в 1980-2000 гг. здесь так же проявляется на всех уровнях (рисунок 9).

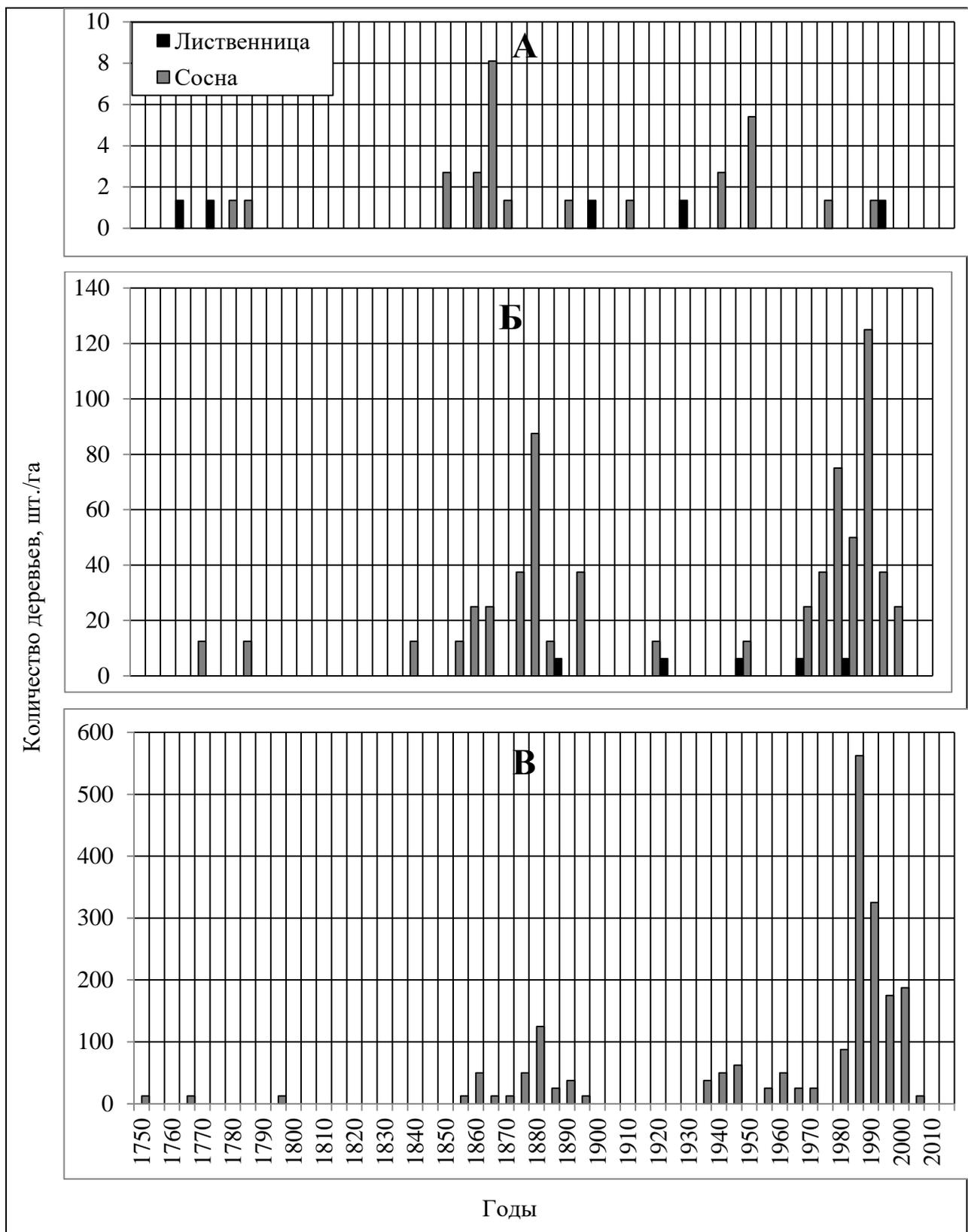


Рисунок 9 - Возрастная структура деревьев на профиле 2 – Башарт

в массиве гор Южный Крака: А – верхний; Б – средний;

В – нижний высотный уровень

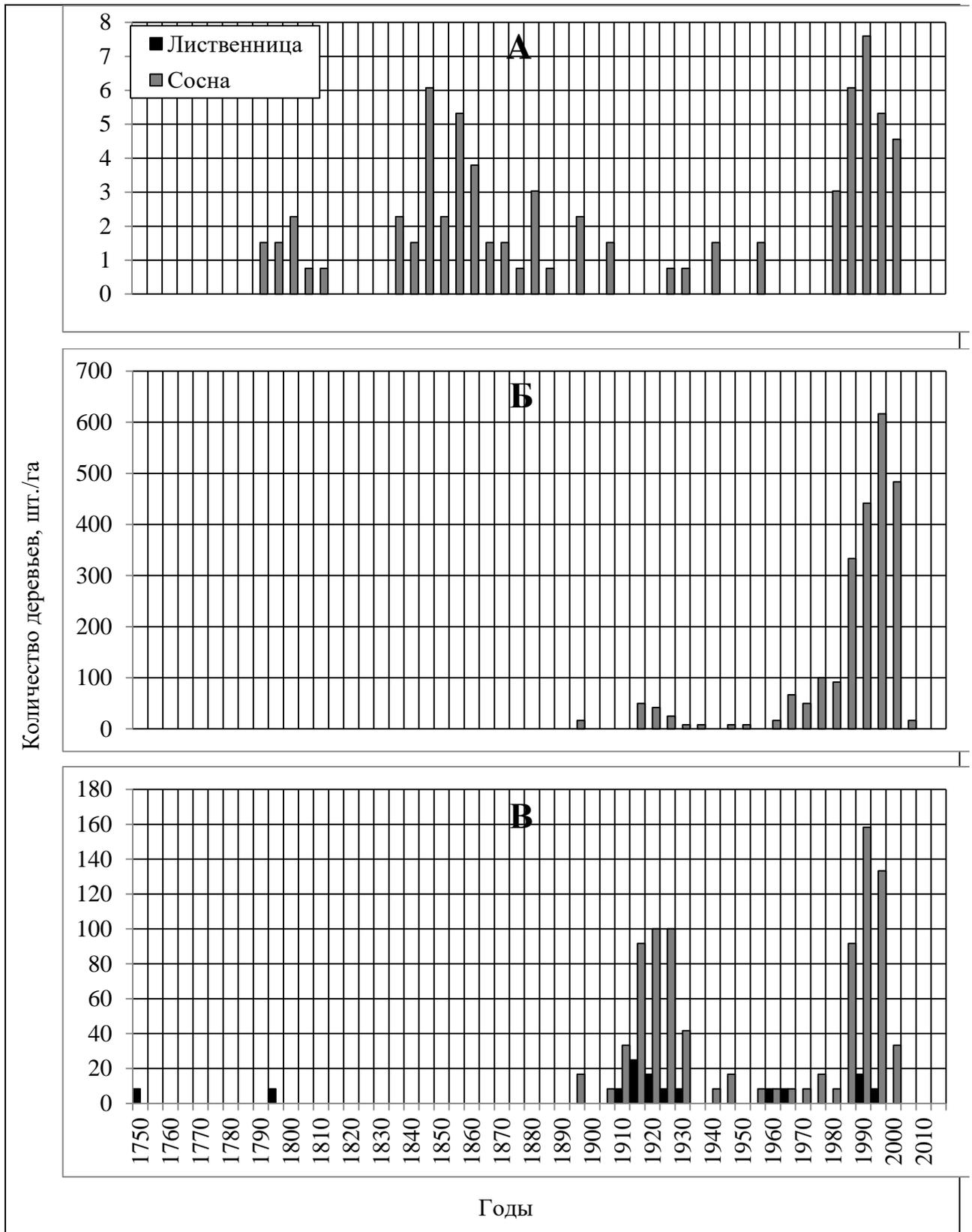


Рисунок 10 – Возрастная структура деревьев на профиле 3 – Авдэктэ
 в массиве гор Южный Крака: А – верхний; Б – средний;
 В – нижний высотный уровень

В средней и нижней части профиля 3 на горе Авдэктэ наиболее активное возобновление сосны происходило в периоды с 1910 по 1930 гг. и 1980 по 2005 гг., где за 5 лет появлялось в максимум на 1 га по 100 и 160 деревьев, соответственно (рисунок 10). В верхней части профиля III, в отличие от среднего и нижнего уровня, выражены три периода активного появления деревьев. Первое из поколений сформировалось в период с 1790 по 1810 гг., второй всплеск приходится на 1840 по 1890 гг., последующий пик возобновления деревьев находится между 1930 и 1950 гг., но здесь совсем не выражен присущий для всех профилей рост численности появившихся деревьев после 1980 г.

На профиле-полигоне IV (рисунок 11), отличающемся крайне мозаичным,

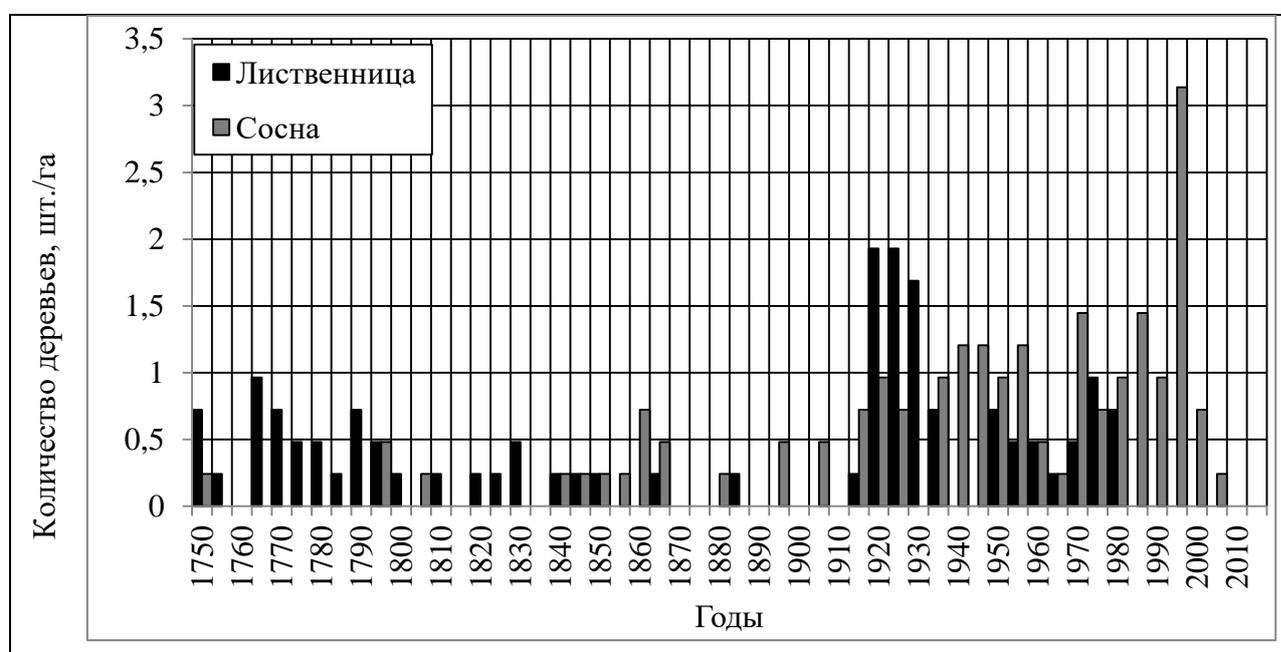


Рисунок 11 – Возрастная структура деревьев на профиле – полигоне 4 в массиве гор Южный Крака

групповым пространственным распределением деревьев по территории исследуемого склона произрастают самые старые деревья, отдельные деревья имеют возраст около 270 лет. Спецификой полигона является то, что здесь в составе древостоя и чуть больше доли лиственницы. В возрастной структуре древостоев выделяется несколько поколений, которые сформировались у лиственницы в периоды с 1750 по 1805 гг., с 1820 по 1855 гг., и с 1915 по 1940 гг., с 1950 по 1985 гг., а у сосны в периоды с 1840 по 1870 гг., с 1915 по 1930 гг., с

1935 по 1960 гг., и с 1970 по 2005 гг. Надо отметить, что после 1980 гг. лиственничный подрост на профиле-полигоне не встречается, появляется только сосновый молодняк.

На Северном Крака, в основная масса первых деревьев появилась только после 1800 г., и лишь на профиле 7– Шигай несколько деревьев появились чуть раньше (рисунки 12-15). Из приведенных диаграмм видно, что основная масса деревьев появилась на профилях массива гор Северный Крака после 1900 г. Это значительно позднее (примерно 50 лет), чем на Южном Крака. А на верхнем уровне массовое появление древесных растений началось только в 80-х гг. прошлого столетия.

На профилях массива Северный Крака периоды массового появления деревьев имеет в основном два пика возобновления, которые обнаруживают большую синхронность на всех исследуемых участках. Так, первое поколение насаждений на Северном Крака сформировалось с 1925 по 1950 гг., второе с 1975 по 2005 гг., который совпадает во всех исследуемых профилях.

На профиле 5 – Суртанды первые деревья на втором и третьем уровнях появились только в 1905 г., чуть позже на первом уровне (рисунок 12). На четвертом уровне отсутствует, характерная для всех других уровней после 1975 г., вторая волна возобновления, которую можно объяснить тем, что происходит подавление материнским пологом появившегося молодняка, о чем было сказано выше.

На профиле 6 – Малый Саргая массовое заселение деревьев на склоне началось в 1910 г. с максимумом 1940-1945 гг., единичные деревья лиственницы появились 1830 гг. (рисунок 13). Особенностью профиля 6 – Малый Саргая является то, что на втором и третьем высотных уровнях в составе древостоя присутствует значительное количество лиственницы.

На Северном Крака только на профиле 7 – Шигай, присутствуют деревья появившиеся до 1900 г., на верхнем уровне первые деревья появились 1760 г., а после 1800 г. на втором и третьем уровнях (рисунок 14). Периоды массового

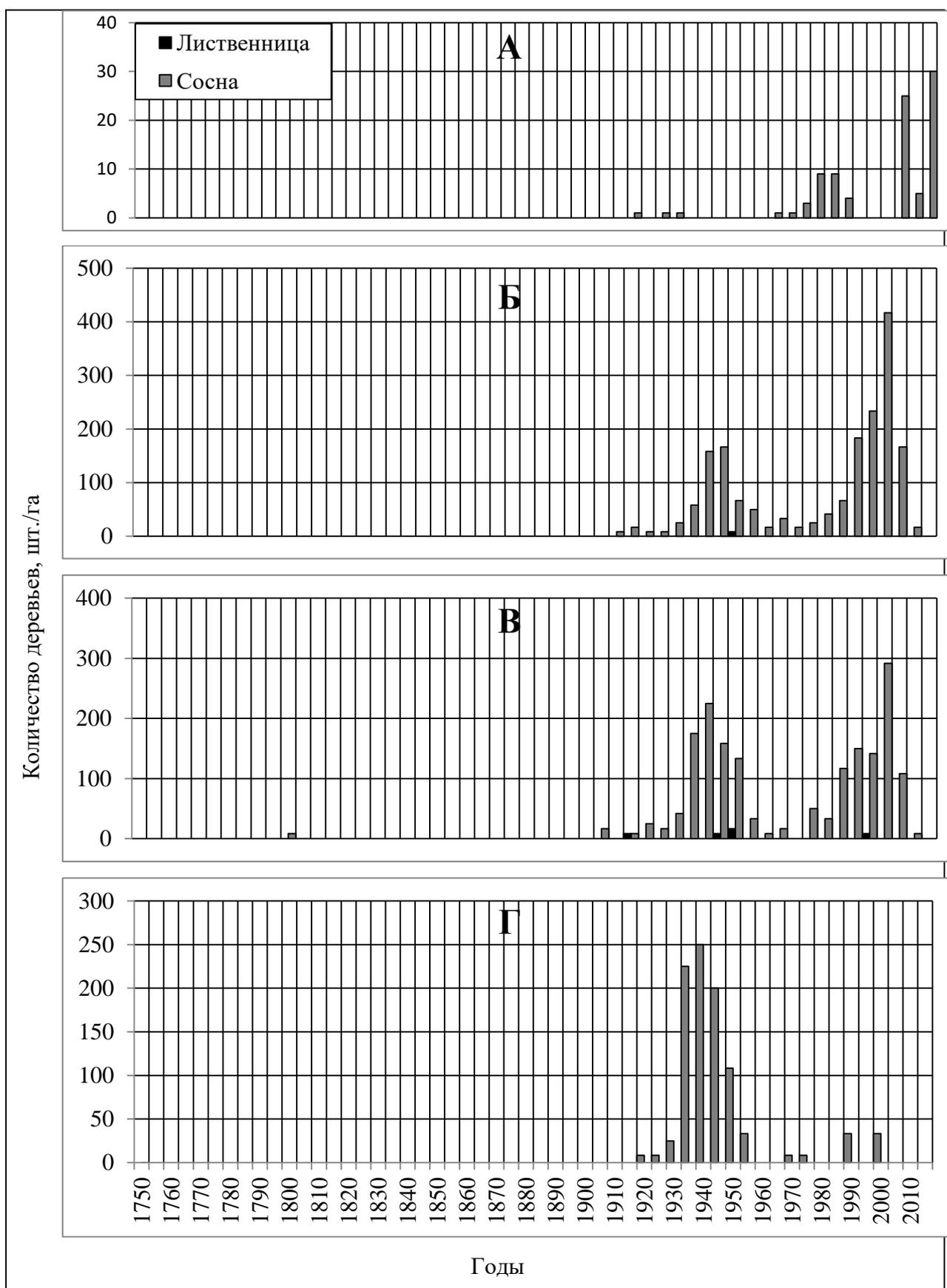


Рисунок 12 – Возрастная структура деревьев на профиле 5 – Суртанды
 в массиве гор Северный Крака: А – верхний; Б – средний;
 В – нижний; Г – дополнительный четвертый высотный уровень

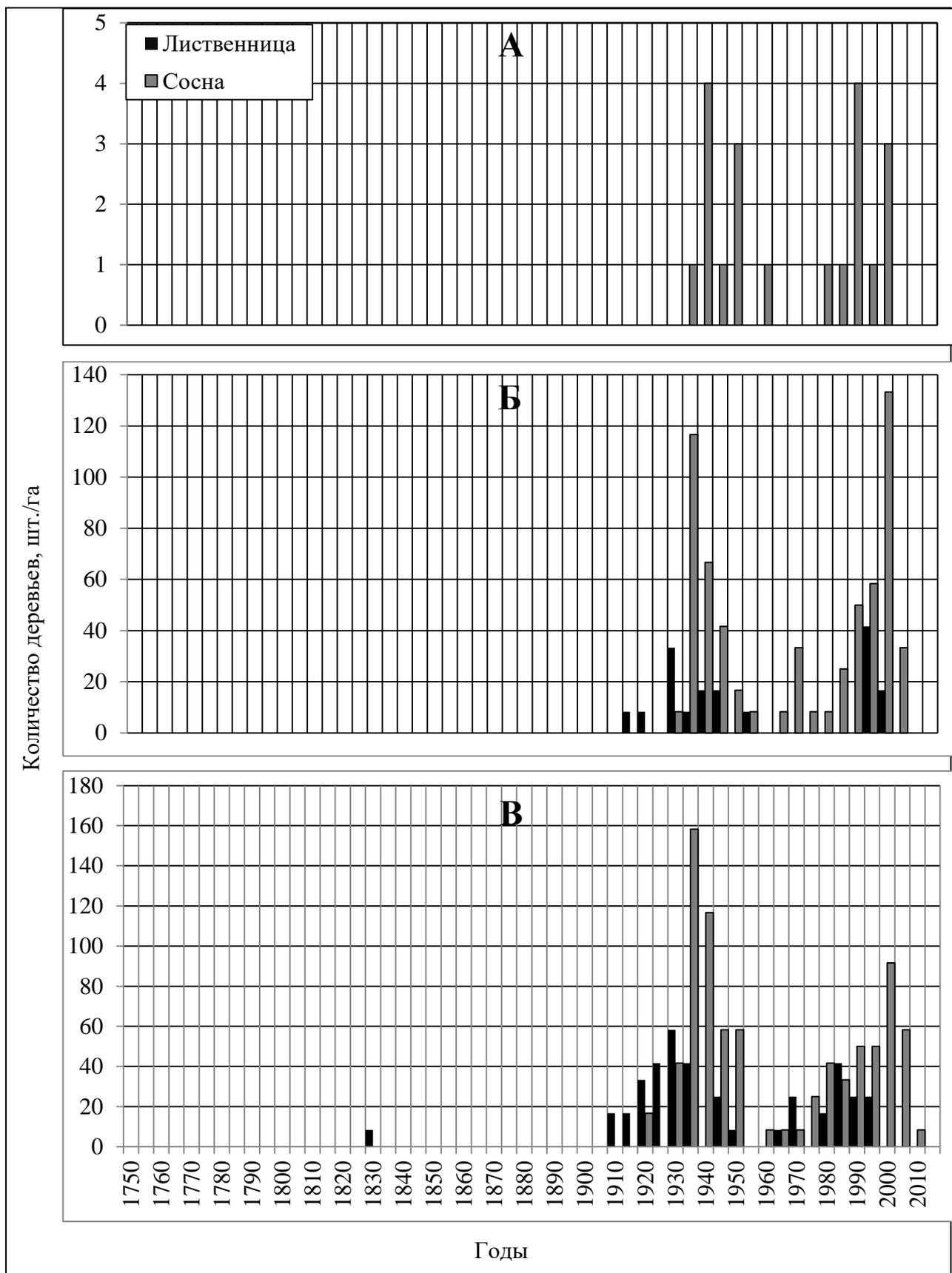


Рисунок 13 – Возрастная структура деревьев на профиле VI Малый Сарагя в массиве гор Северный Крака: А – верхний; Б – средний; В – нижний высотный уровень

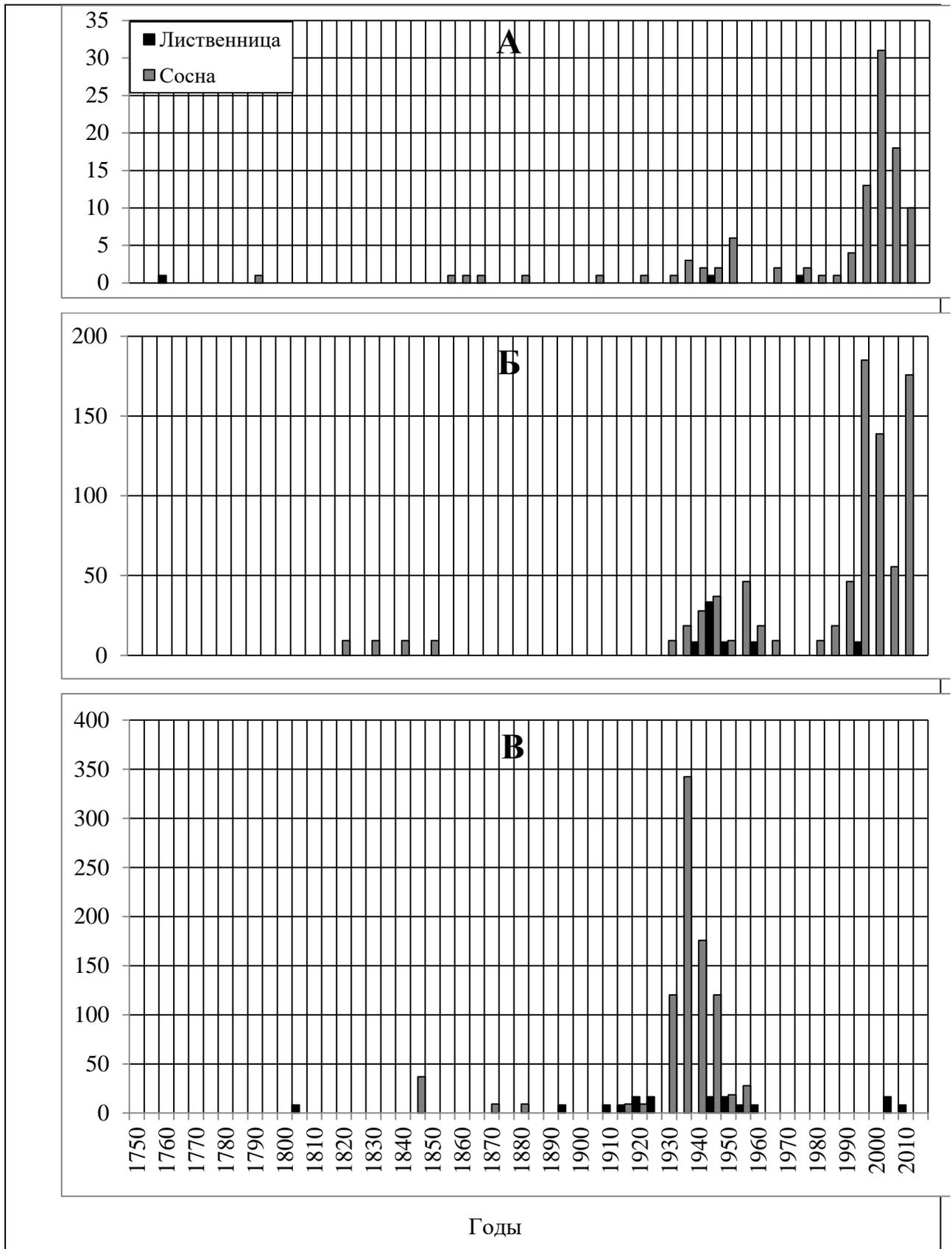


Рисунок 14 – Возрастная структура деревьев на профиле 7 – Шигай
 в массиве гор Северный Крака: А – верхний; Б – средний;
 В – нижний высотный уровень

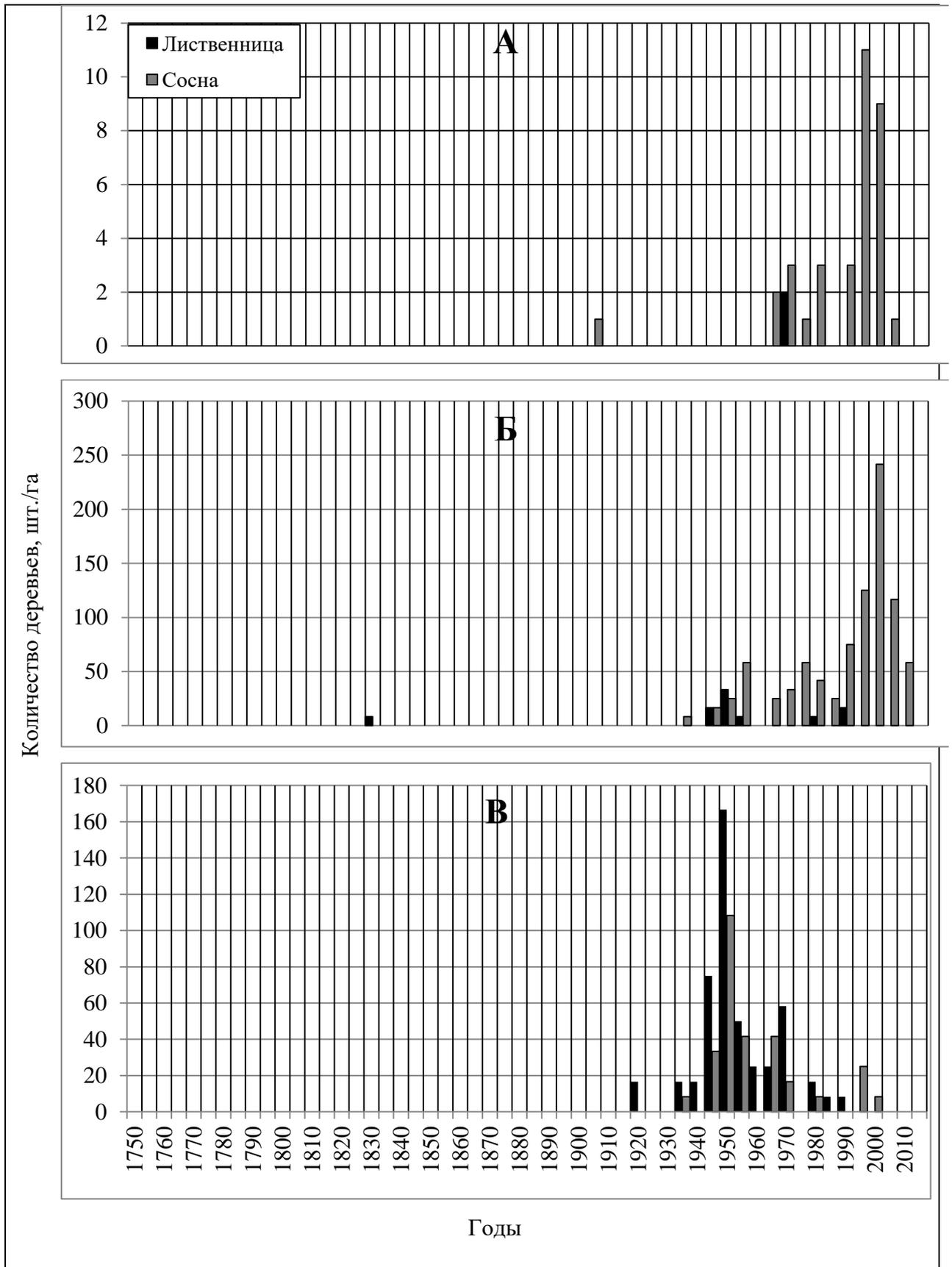


Рисунок 15 – Возрастная структура деревьев на профиле 8 – Центральный Акбиик в массиве гор Северный Крака: А – верхний; Б – средний; В – нижний высотный уровень

возобновления, приходящиеся на 1925-1950 гг. и после 1975 г. наблюдаются на втором и первом уровнях. А на третьем уровне после 1960 г., возобновление отсутствует, вероятной причиной этому является беглый низовой пожар (на отдельных стволах старый нагар), который повредил подрост, не нанося вреда крупным деревьям, имеющим толстую кору у основания ствола защищающий от ожога камбиальную ткань.

На профиле 8 – Центральный Акбиик, общая картина возрастной структуры отличается от остальных. Здесь на верхнем и среднем уровнях основная часть деревьев начала появилась только после 1960 г., с пиком возобновления в 2000 г. На нижнем уровне наиболее активное возобновление происходило с 1935 г., равномерно увеличиваясь до 1950 г., в дальнейшем уменьшаясь по 1990 г. (рисунок 15).

Если до 70-х годов прошлого столетия, лиственница составляла примерно 1/3, появившихся деревьев, то на сегодняшний день ее доля сильно сократилась, ниже границы сомкнутых лесов подрост лиственницы практически нет.

Как видно из приведенных выше результатов исследований, отчетливо проявляются два периода активного возобновления. Первый всплеск появления древесных растений несколько расходится по времени на разных профилях, а также на разных высотных уровнях на конкретном склоне, но все же наблюдается определенная синхронность во всех исследуемых участках. Второй всплеск возобновления, который приходится на период после 1975 г. происходит активно на всех профилях как на современной границе сомкнутых лесов и редколесий, так и на участках, прилегающих к горным степям. Это привело в последующий период к увеличению густоты древостоев и смещению границ сомкнутых лесов вверх по склонам. При этом наблюдается тенденция увеличения в составе насаждений сосны по отношению к лиственнице во всех частях склона, как на Южном, так и на Северном Крака. О лучшей сопротивляемости и приспособляемости, в аналогичных условиях, сосны обыкновенной по отношению к лиственнице упоминается также рядом авторов (Dulamsuren et al., 2010; De Grandpre et al., 2011). В литературе имеются сведения, что замещение

лиственницы другими породами в связи с изменением климата происходит в районах, где температура не является лимитирующим фактором, сосновыми в условиях дефицита влаги, а темнохвойными, при достаточном увлажнении и плодородии почв (Аненхонов, 2009; Бочаров, Савчук, 2015; Tchebakova et al., 2005; Schuster, Oberhuber, 2013 и др.).

В целом результаты проведенных нами исследований позволяют констатировать факт зарастания остепненных склонов древесной растительностью по всему массиву Крака. На склонах гор Южного Крака наиболее старые деревья датируются 1750 г., тогда как на Северном Крака деревья появились на 50 лет позже на нижних частях склона, а на верхнем уровне деревья начали появляться только в последние 50-40 лет. На нижнем высотном уровне произрастает большее число старых деревьев, но больших различий в распределении деревьев по периодам их появления на разных высотных уровнях нет. После 1900 г. количество появившихся деревьев на среднем и нижнем уровнях на порядок больше чем на верхних частях профиля. Распределение деревьев по периодам их появления на различных высотных уровнях указывает на две волны активного возобновления, пик которых совпадают не только на отдельно взятом склоне, но и на всех исследуемых профилях. Выявленные нами периоды активного синхронного волнообразного возобновления и резкий рост древесных растений с 1975 по 2005 гг., были отмечены и других регионах (Xu et al., 2017). Всплеск возобновления в засушливых горных районах Прибайкалья приурочен к периодам благоприятных по влагообеспеченности, темпы которых зависят от склоновых аспектов и эдафических условий (Anenkhnov et al., 2015). Активное возобновление сосны на участках горных степей, связанное с улучшением условий роста, отмечают в последние 20 лет в предгорьях Ильменского хребта на Южном Урале (Золотарева, 2011). Это является основанием считать, что периоды активного возобновления связаны с общими на всей территории массива факторами, которыми могут быть только климатические, а именно с увеличением количества осадков.

4.4 Оценка изменения площади горных степей на склонах гор массива Крака

Все выявленные нами 1471 безлесных участка, в целом по всему массиву гор Крака, для удобства были сгруппированы в 31 подрайон на Южном Крака, сюда вошли 943 участков, на Среднем Крака – 326 участков, в 7 подрайонов и на Северном Крака – 202 участка в 9 подрайонов (см. рисунок 4), сумма их площади составили 6559,8 га, 1923,6 и 3176,6 га соответственно (таблица 4.2). В результате интенсивного зарастания древесной растительностью безлесных пространств, и увеличения сомкнутости крон деревьев редколесий, граница сомкнутых лесов продвинулась на территорию горных степей. Сравнение площади занимаемой горными степями в 1986 и 2016 гг. показало, что в целом по всему массиву Крака, они уменьшились на 17,6%, это составляет чуть больше 2 тыс. га. Самые значительные изменения происходили на склонах гор Северный Крака, общая площадь исследуемых участков уменьшились в среднем для всего района на 28,1%. Уменьшение площади остепненных участков на Южном Крака составляет в целом 14,1%, на Среднем Крака горные степи заросли лесом на 12,1%.

Таблица 4.2 – Изменение площади безлесных участков на горных массивах Крака за последние 30 лет

Массив	Количество участков	Площадь в 1986 г., га	Площадь в 2016 г., га	Изменение площади	
				га	%
Южный Крака	943	6559,8	5633,0	926,8	14,1
Средний Крака	326	1923,6	1691,3	232,3	12,1
Северный Крака	202	3176,6	2283,9	892,7	28,1
В целом по массиву	1471	11660,0	7916,9	2051,8	17,6

Анализ результатов исследования показывают, что в большинстве выделенных подрайонов наблюдается зарастание горных степей древесными растениями. Полученные результаты хорошо видны на примере фрагмента массива гор Южный Крака, подрайон Башарт (рисунок 16). Но внутри подрайонов встречаются отдельные участки, в которых происходит расширение территории

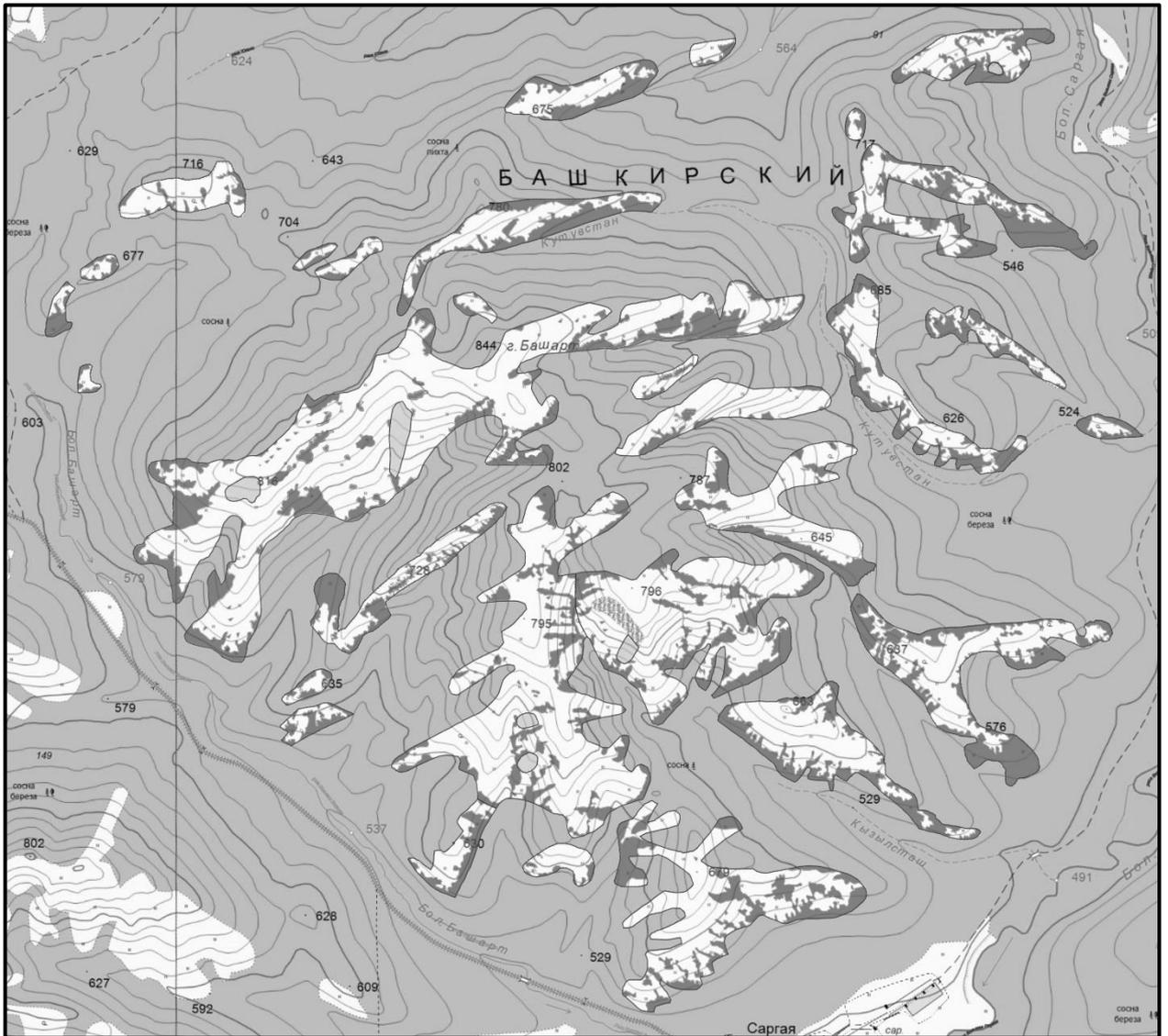


Рисунок 16 – Динамика древостоев на склонах гор Башарт (Южный Край).

Светлым серым цветом показаны сомкнутые лесные массивы, отображенные на топографической карте 1986 года создания, темным серым – участки занятые древостоями с сомкнутостью крон более 35% в период между 1986 и 2016 гг.

горных степей, связанное с внешними факторами (пожары, антропогенные воздействия).

Максимальные уменьшения площади безлесных участков выявлено в подрайонах горных узлов у д. Кильдигулово на 42,1% и Сангильде на 30,7% (см. приложение 1). Следует отметить, что в большинстве выделенных подрайонах в 2016 г. по сравнению с 1986 г., площадь горных степей уменьшилась в среднем на

18-22%. Наоборот, увеличение их площади на участках в подрайоне «Деревенские» на 63,0% связано с близостью нескольких крупных населенных пунктов и влиянием антропогенного фактора. В первую очередь интенсивный выпас скота; а далее по степени воздействия идут рубки, сенокошение, строительство дорог. Незначительное среднее увеличение площади выделенных горностепных участков на горных узлах Центр-запад Кулукайских гор на 2,3%, хребта Малый Юкали – 5,5%, на Южном Крака, связана с крупным пожаром прошедшем в 1975 г. на территории Башкирского заповедника, который охватил площадь более 10 тыс. га. Если охват пожаром вышеназванных горных узлов и некоторых смежных подрайонов был частичным, то подрайон Большой Юкали, верховья р. Саргая и гор у р. Анкыс горели полностью, где увеличение безлесных территорий наблюдается во всех сравниваемых участках, составляя в сумме 59, 127 и 34% соответственно. На сегодняшний день на пройденных пожаром территориях происходят процессы восстановления леса (Гайсин, 2015), но на южных склонах и верхних частях хребтов сомкнутость крон появившихся деревьев (молодняка) еще не достигла 35%.

На массиве гор Средний Крака также всех подрайонах происходит зарастание лесом горных степей и как следствие уменьшение площади последних, кроме подрайона узла хребтов «Катарыш», где площадь безлесных участков увеличилось на 11,1% (см. приложение 1). По-видимому, причиной является также пожар, возможно антропогенный фактор или особенности дешифровки аэрофотоснимков при составлении топографических карт ГосГисЦентра.

На массиве гор Северный Крака происходит наиболее интенсивная экспансия леса на горностепные участки. Площадь безлесных участков на сегодняшний день уменьшилась по сравнению с 1986 г. на всех 9 подрайонах более чем на 20% (рисунок 17, приложение 1), в подрайоне гор Малый Крака и у д. Серменево безлесные участки заросли на 40% и более.

Необходимо подчеркнуть, что на Южном Крака горные степи и редколесья занимают 13,9% территории от общей площади массива, это максимальные значения по всем трем массивам гор, меньше всего составляют на среднем Крака,

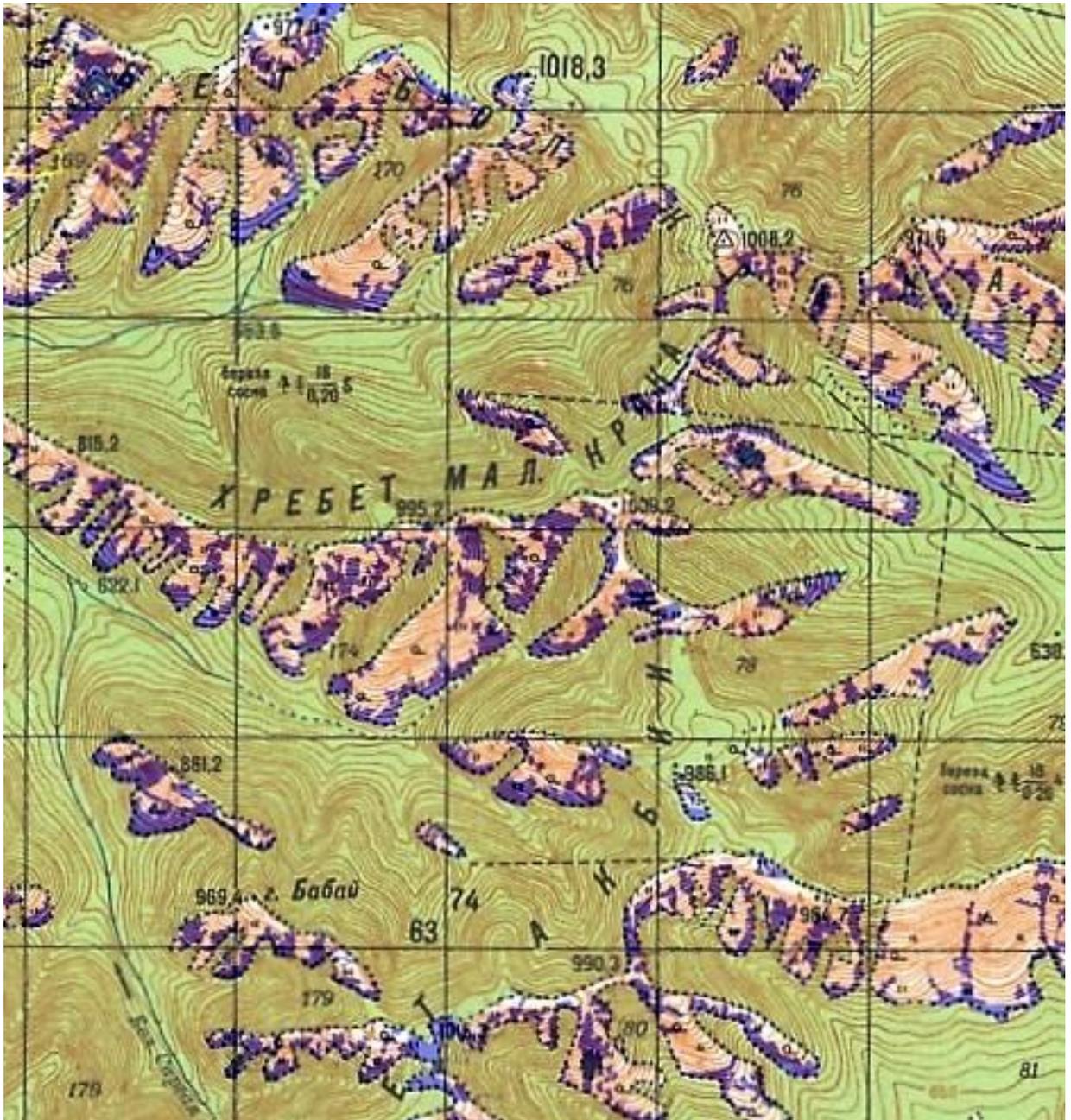


Рисунок 17 – Динамика древостоев на склонах массива гор Северный Крак.

Светло-зеленым оттенком показаны: сомкнутые лесные массивы, отображенные на карте ГосГисЦентра 1989 г., а синим – остепненные участки, занятые древостоями с сомкнутостью крон более 35% в период между 1989 и 2016 гг.

всего 4,0%, а на Северном Краке 9,6% площади являются безлесными пространствами. В свою очередь средняя площадь безлесных участков составляет на южном обособлении массива Крака 7,0 га, в среднем – 5,9 га и на северном – 15,7 га. Разница в более два раза средней площади безлесных участков в горном массиве Северный Крак, по сравнению с другими частями, связана с большей

высотой массива (в среднем на 50 м.) и более жесткими условиями роста древесных растений. Поэтому зарастание верхнего высотного уровня начало происходить позже, где до XIX века практически не было деревьев. Но в связи изменением климата и улучшением условий для роста древесных растений экспансия леса на Северном Крака происходит намного интенсивней.

На остепненных склонах массива гор Крака встречаются множество участков, обозначенных на карте ГосГисЦента как горные степи, которые на сегодняшний день, по современным космоснимкам 2015-2016 гг., полностью заросли древесной растительностью. Значительное или полное зарастание характерна для участков горных степей, имеющих маленькую площадь, а также приуроченным к нижним частям склонов. Оценка степени зарастания в 2016 г. безлесных участков в массиве гор Крака в зависимости от изначальной площади показывает, что она снижается по мере увеличения их размеров площади (рисунок 18).

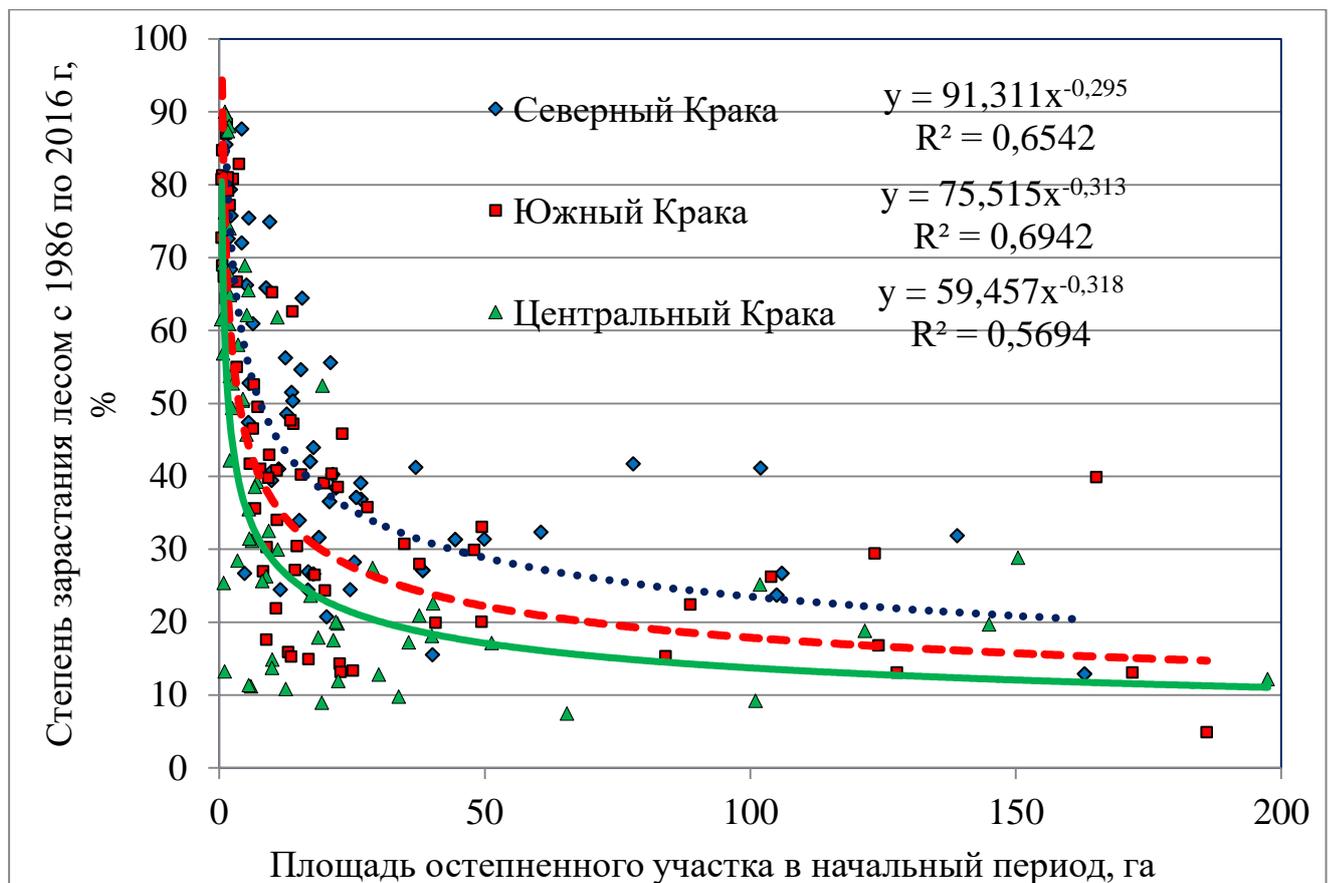


Рисунок 18 – Зависимость степени зарастания древесной растительностью остепненных участков от их площади в начальный период в 1986 гг.

При этом хорошо заметно, что по мере роста площади безлесных участков с 0,5 до 10-15 га степень их зарастания резко снижается (с 65-85 до 35-50%), а при дальнейшем увеличении площади степей степень их облесения уменьшается плавно. Выводы полученные исследованиями в Забайкалье и в Монголии и Китае также указывают на низкую устойчивость к изменениям климата сообществ с малой площадью (Коломыц, 2003; Dulamsuren et al., 2010; Sizykh, 2016; Xu et al., 2017).

Безусловно, степень зарастания зависит от многих факторов от места расположения участка на склоне хребта, крутизны, каменистости, расчлененности и экспозиции склона. Чем выше по склону расположен безлесный участок, тем медленнее происходит его зарастание лесом, а при расположении в средней и нижней части хребта, где для древесных растений создаются более благоприятные условия для роста, наблюдается более интенсивное возобновление. Темпы продвижения границы леса на территорию горных степей зависит от крутизны и расчлененности поверхности. На крутых склонах с ровной поверхностью, возобновление и расширение леса происходит медленнее, чем на пологих склонах, и на участках с выраженным мезорельефом. Неровности поверхности склона способствуют, задержанию слоя почвы и влаги, защищают молодые деревца от сильных ветров и т.д. (Хорошев и др., 2018).

Сравнение площади занимаемой безлесными участками, в подрайонах Большой Башарт, Башарт, Авдэктэ на горном массиве Южный Крака (см. рисунок 4, приложение 1), по современным космоснимкам с материалами лесоустройства 1941, 1969, 1979 гг. показало, что за последние 74 года она уменьшилась на 37,5%. При этом за период с 1941 по 1979 гг. – всего на 9,6%, а с 1979 по 2015 гг. динамика зарастания ускорилась, сокращение площади горных степей произошло еще на 29,1, т.е. за то же время во втором отрезке зарастание ускорилось почти в 3 раза. На массиве гор Северный Крака площади безлесных участков на подрайонах Суртанды, Малый Саргая, Центр г. Акбиик, Малый Крака, уменьшились с 1986 по 2016 гг. на 26,4% (рисунок 19). Как видно из рисунка 19, уменьшение площади

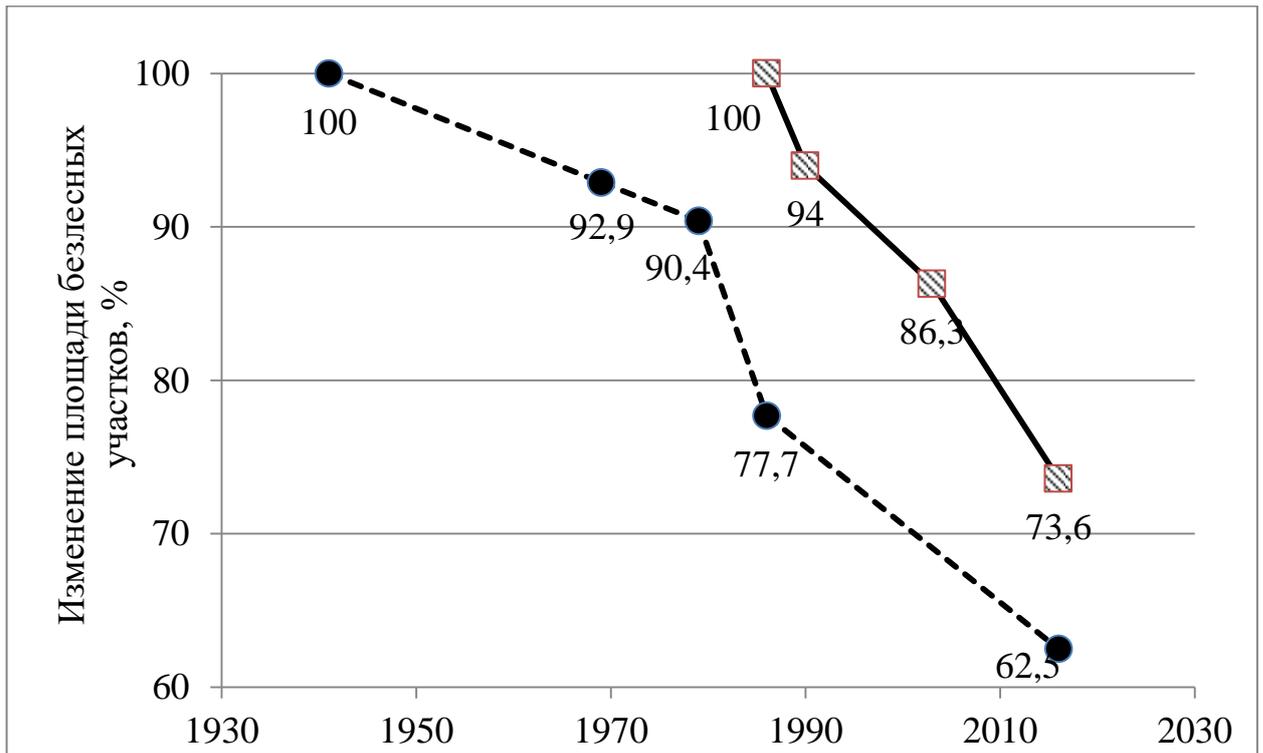


Рисунок 19 – Изменение начальной общей площади безлесных участков на склонах: пунктирная линия на Южном Крака за период с 1941 по 2016 гг., сплошная линия на Северном Крака с 1986 по 2016 гг.

степей прослеживается и по материалам лесоустройства, что подтверждает факт зарастания остепненных склонов и возрастание успешного лесовозобновления в 1970-2000 гг.

Значительный сдвиг границы и резкое увеличение площади лесов за последние десятилетия П.А. Моисеев с соавторами (2019) объясняют тем, что деревьям сложнее заселять пространства, где совсем нет деревьев, чем участки, где уже имеются, хотя и редкие, деревья за счет освоения пространства между ними. Появление молодняка и их дальнейшее закрепление на верхних частях склона, где произрастают единичные деревья, происходит медленно, а зарастание редколесий гораздо быстрее. Это привело к увеличению сомкнутости древостоев, и заметному продвижению границы сомкнутых лесов за последние 30 лет.

Все вышесказанное доказывает, что в исследуемом районе происходит значительное сокращение площади горных степей и замещение их древесной растительностью, улучшение условий для появления всходов и роста

светлохвойных пород. Наиболее выраженные изменения площади безлесных участков наблюдаются на относительно пологих, менее каменистых склонах с выраженными почвами и мезорельефом, а также в нижних частях склонов. Анализ данных наших исследований показал, что сомкнутые древостои в основном сформировались в нижних частях остепненных склонов, в логах и микропонижениях рельефа. Интенсивность зарастания древесными растениями отдельных частей склона, подтверждает связь влияния гидрологического режима на появление и дальнейшую жизнедеятельность появившегося молодняка. Об этом также свидетельствуют литературные данные, которые указывают, что в зависимости от особенностей регионального климата данные процессы связаны с изменением различного набора климатических факторов. Для специфичных сухих условий горных степей этот процесс обуславливает количество доступной влаги (Сизых, Воронин, 2013; Anenkhonov et al., 2015; Sizykh, 2016 и др.).

Экспансия леса на остепненных склонах зависит кроме климатических переменных, от условий местообитания (микро- и мезорельефа, экспозиции склона, условий увлажнения и степени дренированности почвы, группы доминирующих видов в живом напочвенном покрове). Рельеф как экологический фактор, оказывающий косвенное влияние на растительный покров за счет перераспределения тепла, света и влаги, имеет большое значение (Соколова, 2016). Существенное значение для возобновления играют микроусловия, так например, у кромки леса или под разреженным древостоем на втором высотном уровне, где создаются более благоприятная среда для прорастания и дальнейшего выживания всходов деревьев. Кроме того, немаловажную роль имеет совпадение благоприятных, для возобновления периодов (отдельные годы) с высокими урожаями семян, чтобы наблюдался максимум во внедрении древесных видов в горные степи (Григорьев и др., 2019; Jakubos, Romme, 1993; Dulamsuren et al., 2012).

Предполагается что в южных районах распространения горных степей Урала из-за самой высокой экстремальности условий для произрастания деревьев на них, процессы их облесения (возобновления древесной растительности)

должны быть менее выражены по сравнению с более северными районами (Моисеев и др., 2016). Так как с продвижением на юг облучение поверхностей солнечной радиацией возрастает, это приводит к существенному увеличению прогрева поверхности почвы на склонах южных экспозиций, а значит, становится более выраженной засушливость почвы. Поэтому экстремальность условий для произрастания на них древесной растительности также увеличивается, а суммарная площадь малооблесенных территорий возрастает из-за низкого уровня выживаемости (Батчаева и др., 2003; Hais et al., 2016).

4.5 Особенности формирования надземной фитомассы деревьев и древостоев, ее изменение в связи со смещением границы сомкнутых лесов в экотоне

Фитомасса является ключевым компонентом природного углеродного цикла, является итогом продуцирования биогеоценоза и представляет собой органическую массу определенной структуры. В рассматриваемом аспекте вопросы формирования фитомассы древостоев на стыке лесов и другими сообществами весьма актуальны для оценки биосферной и экологической роли лесов, произрастающих в этих условиях. В частности, увеличение площади лесов за счет экспансии на территорию горных степей свидетельствует о расширении площадей насаждений, обеспечивающих длительное консервирование углерода. Для оценки углерододепонирующей роли, продуктивности и устойчивости этих насаждений важно получить количественные данные о накоплении фитомассы.

Определение запасов фитомассы древостоев предусматривалось на основе фактического распределения деревьев по ступеням толщины. Поэтому на первом этапе мы стремились изучить зависимость массы различных фракций (ствол, крона, хвоя) от диаметра ствола и других параметров деревьев.

Фитомасса и объем деревьев и их структурных частей зависит от множества факторов. Поэтому при исследованиях надземной фитомассы деревьев и древостоев важное значение имеет обоснованный выбор факторов (таксационных показателей), объясняющих максимальную долю изменчивости массы стволов и

крон (Семечкина, 1978; Усольцев, 1985). С учетом простоты и точности определения, а также тесноты корреляции с фитомассой структурных частей дерева большинство исследователей выбор делают в пользу диаметра и высоты стволов или на их комбинации в форме D^2H . Причем отмечается, что в уравнениях парной связи целесообразно использовать показатель D^2H , а в многофакторных уравнениях диаметр и высоту в качестве отдельных определяющих факторов (Нагимов, 2000). На данном этапе работ, ограниченный экспериментальный материал не позволил нам оценить множественные связи фитомассы деревьев с их таксационными показателями. Акцент был сделан на исследование зависимостей массы стволов, крон и хвои от показателя D^2H с расчетом, что полученные при этом уравнения позволят наиболее точно рассчитать надземную фитомассу древостоев, так как при одинаковых диаметрах на различных высотных уровнях высота деревьев значительно отличается.

Предварительная графическая обработка экспериментального материала показала, что зависимость массы стволов и сосны и лиственницы от показателя D^2H носит прямолинейный характер. Причем, несмотря на значительную неоднородность модельных деревьев по возрасту, влияние этого показателя на характер зависимости не обнаруживается. Данное обстоятельство позволило нам в разрезе древесных пород получить общие уравнения с использованием всей совокупности модельных деревьев:

$$\text{по сосне} \quad PS = 1,21945 + 97,76528 * D^2H, \quad R^2 = 0,954; \quad (1)$$

$$\text{по лиственнице} \quad PS = -3,3793 + 107,6882 * D^2H, \quad R^2 = 0,992. \quad (2)$$

Значения коэффициента детерминации (R^2) уравнений (1) и (2) свидетельствуют, что изменчивость фитомассы стволов в значительной степени определяется показателем D^2H . Полученные уравнения корректны и адекватны экспериментальным материалам.

Наглядно зависимость фитомассы стволов модельных деревьев от их показателя D^2H показана на рисунке 20.

Линии регрессии на рисунке 20 построены по уравнениям (1) и (2). Точками на рисунках показаны данные модельных деревьев, использованных при

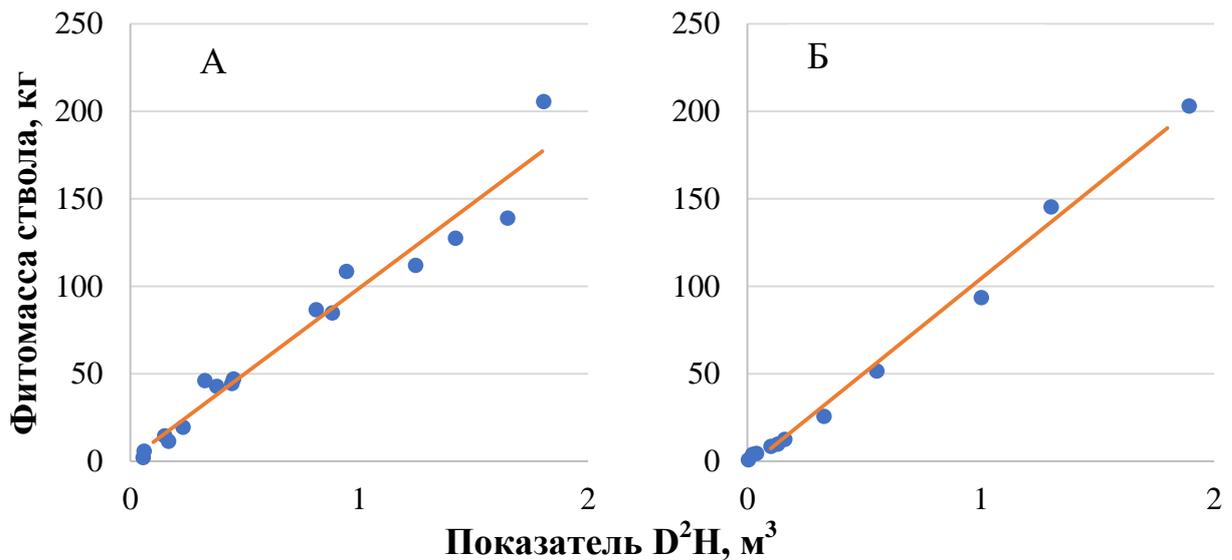


Рисунок 20 – Зависимость фитомассы стволов модельных деревьев «А» сосны и «Б» лиственницы от их показателя D^2H

разработке уравнений. В целом прямолинейный характер исследуемых зависимостей сомнений не вызывает. Полученные уравнения могут быть использованы для определения массы стволов на единице площади на основе данных измерения диаметра и высоты деревьев на пробных площадях.

При исследовании зависимостей массы кроны (хвои) от показателя D^2H были получены совершенно иные результаты. Во-первых, на графиках после рассеивания эмпирических значений массы кроны (хвои) на много шире, чем массы стволов. Установлено, что такое обстоятельство в значительной степени обусловлено влиянием возраста деревьев на характер зависимостей. Анализ графических данных показал на необходимость и возможность разделения совокупности модельных деревьев и сосны и лиственницы на две группы по возрасту. По сосне в первую группу (более молодых деревьев) объединены модельные деревья возрастом от 28 до 54 лет, а во вторую (старших по возрасту) - деревья возрастом от 63 до 98 лет. По лиственнице в первую группу включены модельные деревья, возраст которых составляет от 21 до 50 лет, а во вторую - от 66 до 106.

Во-вторых, исследуемые зависимости носят криволинейный характер. Нелинейность зависимостей между коррелирующими показателями

свидетельствуют о необходимости оценки различных функций для их аналитического выражения. Большинство исследователей фитомассы деревьев признают, что для выражения таких зависимостей наиболее обоснованным является применение степенной (аллометрической) функции, статистические параметры которой корректно объясняются с биологических позиций (Усольцев, 1985): $y = ax^b$ (3)

При оценке различных функций для аналитического выражения изучаемых нами зависимостей, функция (3) оказалась наиболее корректной. Корректность использованных функций оценивалась по значениям коэффициента детерминации и t-критериев Стьюдента для их параметров. Статистические характеристики функции $y = ax^b$, полученные при описании зависимости фитомассы кроны (хвои) от показателя D^2H по четырем группам (совокупностям) модельных деревьев, приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Уравнения зависимости фитомассы кроны (хвои) от показателя D^2H

Фитомасса	Параметры уравнения		Коэффициент детерминации	Номер уравнения
	a	b		
Сосна (по группе молодых модельных деревьев)				
Кроны в целом	46,8576	1,2106	0,976	(4)
Хвои	13,4597	0,8609	0,913	(5)
Сосна (по группе старшевозрастных модельных деревьев)				
Кроны в целом	24,0237	1,1028	0,560	(6)
Хвои	9,1882	1,0311	0,604	(7)
Лиственница (по группе молодых модельных деревьев)				
Кроны в целом	24,1470	0,8001	0,962	(8)
Хвои	6,9449	0,9291	0,974	(9)
Лиственница (по группе старшевозрастных модельных деревьев)				
Кроны в целом	18,2823	1,4416	0,890	(10)
Хвои	3,2889	1,8081	0,930	(11)

На основе анализа значений коэффициентов детерминации, приведенных в таблице 4.3 можно отметить следующее. При оценке массы кроны в целом и массы хвои, полученные уравнения обеспечивают примерно одинаковую точность. Причем, уравнения, разработанные по данным молодых деревьев,

характеризуются более высокими значениями коэффициента детерминации. На наш взгляд, это объясняется меньшими погрешностями при определении массы крон (хвои) у более мелких по размерам деревьев при их полевой обработке. Сравнение значений коэффициентов детерминации уравнений (1) и (2) с значениями этого показателя у уравнений (4) - (11) позволяет сделать заключение, что на основе регрессионных уравнений с определяющим фактором D^2H фитомасса стволов оценивается значительно точнее, чем кроны и хвои.

Наглядное представление о характере зависимости фитомассы крон от показателя D^2H можно получить по графическим данным, построенным в качестве примера по двум совокупностям модельных деревьев (рисунок 21).

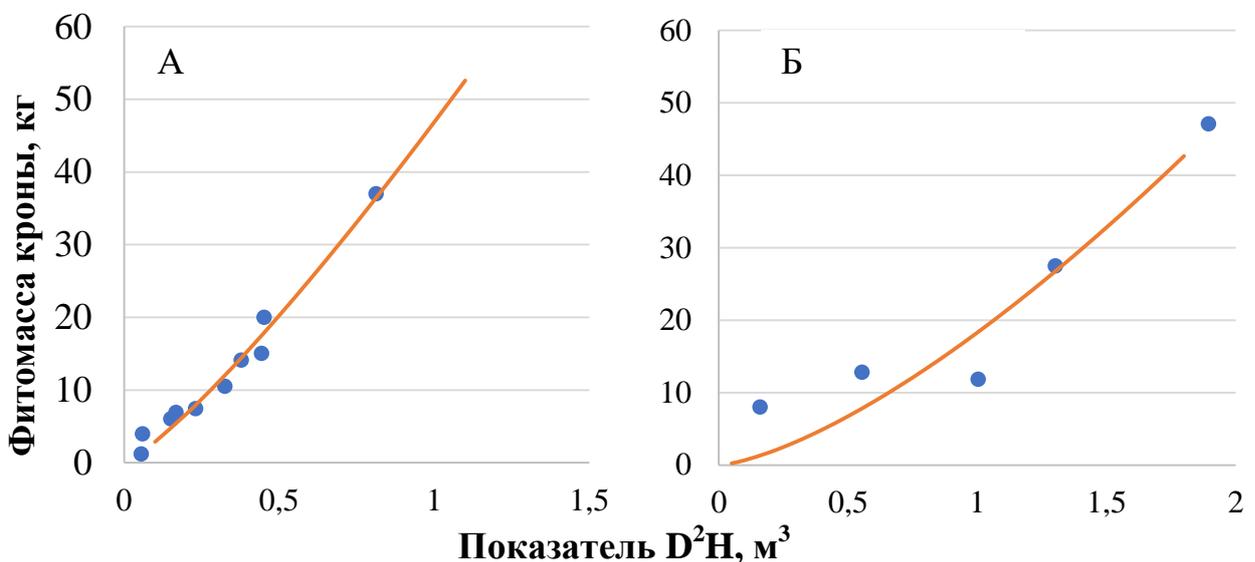


Рисунок 21 – Зависимость фитомассы крон модельных деревьев от их показателя D^2H : А - по группе молодых деревьев сосны; Б - по группе старшевозрастных деревьев лиственницы

Теоретические линии регрессии на рисунке 21 получены по уравнениям (4) и (10). Графические данные подтверждают нелинейность исследуемых зависимостей и правильность подбора аппроксимирующей функции. По фитомассе хвои получены практически такие же результаты, что и по фитомассе крон, поэтому по этой фракции графики не приведены.

В целом приведенные выше материалы показывают, что разработанные уравнения вполне корректны и адекватны эмпирическим данным и приемлемы для оценки надземной фитомассы на уровне древостоев. Область их использования ограничивается диапазонами изменения значений D^2H в древостоях исследуемых участков в массиве гор Крака.

С использованием разработанных уравнений по материалам фактического распределения деревьев на пробных площадках и полигонах по показателю D^2H , определены запасы фитомассы на единице площади. При этом вначале вычислялась фитомасса для каждого учтенного на опытных объектах дерева. Затем суммированием фитомассы деревьев получены данные для древостоя в целом. Причем при оценке фитомассы крон (хвои) на объектах предварительно формировались две выборки деревьев с учетом их возраста. Результаты соответствующих расчетов приведены в таблице 4.4.

Материалы, приведенные в таблице 4.4 позволяют отметить следующее. Надземная фитомасса древостоев на всех профилях существенно уменьшается по мере продвижения от нижнего высотного уровня к верхнему. На Южном Крака средняя по всем профилям фитомасса древостоев на третьем уровне (72,85 т/га) более чем в 15 раз выше, чем на первом (4,73 т/га). На Северном Крака разница по этому показателю между древостоями нижнего и верхнего уровней еще более внушительна: фитомасса древостоев на нижнем уровне (98,68 т/га) в 58,4 раза превышает фитомассу на верхнем (1,69 т/га).

Отношение между значениями средней фитомассы древостоев на втором и третьем высотных уровнях на профилях массива Северный и Южный Крака составляет 1,05 и 1,35 соответственно, а на верхнем, наоборот, на Южном Крака в 4,6 раза больше. В обоих горных массивах уменьшение фитомассы при переходе от редколесий к рединам выражено в значительно большей степени, чем при переходе от границы сомкнутых лесов к редколесьям. Так, фитомасса древостоев на среднем уровне выше, чем на верхнем, на Южном Крака в 8,5, а на Северном – 24,9 раза. При переходе от нижнего уровня к среднему фитомасса древостоев

Таблица 4.4 – Запасы надземной фитомассы по продажам на различных высотных уровнях исследуемых высотных профилей, т/га

Профиль	ВУ	Наземная фитомасса									Фитомасса хвой в кроне		
		всего			в том числе						С	Лц	итого
		С	Лц	итого	стволов			крон					
					С	Лц	итого	С	Лц	итого			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Южный Крака													
1 – Большой Башарт	1-2	1,62	2,75	4,37	1,30	2,22	3,52	0,32	0,53	0,85	0,12	0,13	0,25
	3	35,28	10,14	45,42	28,52	8,21	36,73	6,76	1,93	8,69	2,69	0,46	3,15
2 – Башарт	1	1,85	0,58	2,43	1,46	0,47	1,93	0,39	0,11	0,50	0,14	0,03	0,17
	2	40,59	1,85	42,44	32,43	1,57	34,00	8,16	0,28	8,44	3,13	0,05	3,18
	3	66,67	0,46	67,13	53,19	0,42	53,61	13,48	0,04	13,52	5,13	0,01	5,14
3 – Авдэктэ	1	7,38	-	7,38	5,84	-	5,84	1,54	-	1,54	0,56	-	0,56
	2	37,74	-	37,74	29,56	-	29,56	8,18	-	8,18	3,03	-	3,03
	3	86,02	19,98	106,00	56,70	15,68	72,38	29,32	4,30	33,62	7,34	1,19	8,53
4 – Профиль-полигон	1-2	0,98	3,17	4,15	0,76	2,43	3,19	0,22	0,74	0,96	0,22	0,22	0,44
В среднем на Южном Крака	1	3,62	1,11	4,73	2,87	0,90	3,77	0,75	0,21	0,96	0,28	0,05	0,33
	2	39,17	0,92	40,09	31,00	0,78	31,78	8,17	0,14	8,31	3,08	0,03	3,11
	3	62,66	10,19	72,85	46,14	8,10	54,24	16,52	2,09	18,61	5,05	0,56	5,61

Окончание таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Северный Крак													
5 – Суртанды	1	0,51	-	0,51	0,41	-	0,41	0,10	-	0,10	0,004	-	0,004
	2	54,33	0,074	54,404	43,61	0,07	43,68	10,72	0,004	10,72	4,20	0,000 3	4,200 3
	3	77,76	3,03	80,79	62,72	2,53	65,25	15,04	0,50	15,54	5,95	0,12	6,07
	4	95,12	-	95,12	75,8	-	75,8	19,32	-	19,32	7,00	-	7,00
6 – Малый Саргая	1	3,48	-	3,48	2,82	-	2,82	0,66	-	0,66	0,27	-	0,27
	2	49,75	21,54	71,29	40,48	16,83	57,31	9,27	4,71	13,98	3,93	1,30	5,23
	3	80,82	48,68	129,5	66,25	38,13	104,38	14,57	10,55	25,12	6,35	2,96	9,31
7 – Шигай	1	1,39	0,21	1,6	1,11	0,18	1,29	0,28	0,03	0,31	0,11	0,01	0,12
	2	19,9	3,28	23,18	16,04	2,8	18,84	3,86	0,48	4,34	1,6	0,1	1,7
	3	80,5	23,9	104,4	64,89	18,61	83,50	15,61	5,29	20,9	6,06	1,47	7,53
8 – Центр-й Акбиик	1	0,76	0,40	1,16	0,61	0,32	0,93	0,15	0,08	0,23	0,06	0,02	0,08
	2	10,83	8,55	19,38	8,58	6,94	15,52	2,25	1,61	3,86	0,79	0,39	1,18
	3	25,17	54,86	80,03	20,28	44,67	64,95	4,89	10,19	15,08	1,89	2,56	4,45
В среднем на Северном Крак	1	1,54	0,15	1,69	1,24	0,12	1,36	0,30	0,03	0,33	0,11	0,01	0,12
	2	33,70	8,36	42,06	27,18	6,66	33,84	6,53	1,70	8,23	2,63	0,35	3,08
	3	66,06	32,62	98,68	53,54	25,98	79,52	12,53	6,63	19,16	5,06	1,78	6,84

уменьшается не столь значительно: на Южном и Северном Крака в 1,7 и 2,3 раза, соответственно.

В формировании надземной фитомассы древостоев на исследуемых горных массивах определяющая роль принадлежит сосне. Ее доля колеблется на Южном Крака от 76,5 до 97,7%, а на Северном Крака – от 66,9 до 91,1%, составляя в среднем 89,6 и 71,1%. При этом в первом случае доля лиственницы больше на первом уровне, во втором – на третьем.

Результаты исследований фракционного состава надземной фитомассы древостоев свидетельствуют, что в ней преобладают стволы и ветви - органы, длительно депонирующие органическое вещество. Причем, чем выше возраст органа дерева, тем больше его удельный вес в общей фитомассе. Так, на разных высотных уровнях исследуемых профилей доля стволовой массы сосны колеблется в среднем от 73,6 до 81,0%, а хвои – только от 7,7 до 8,1%. Древостои лиственницы по сравнению с сосновыми характеризуются более высоким участием стволовой массы (от 79,5 до 84,8%) и низкой долей хвои (от 3,3 до 6,7%) в общей надземной массе. Различия между сосновыми и лиственничными древостоями по структуре надземной фитомассы обусловлены как их таксационными показателями, так и биологическими особенностями данных древесных пород. В целом результаты данных исследований свидетельствуют о принципиальном сходстве полученных нами данных с известными в специальной литературе материалами исследований фитомассы деревьев и древостоев при небольшом количественном расхождении некоторых показателей (Усольцев, 1985; Нагимов и др., 2007; 2008).

Отдельно стоящие деревья имеют развитую крону, мощное ветвление и невысокий ствол в отличие от растущих в более сомкнутом древостои, у которых основная масса сосредоточена в стволе, а крона располагается только в самой верхней части. Известно, что именно густота древостоев оказывает значительное влияние на формирование фитомассы различных фракций (Нагимов, 2000), особенно это проявляется у светлохвойных пород, у которых происходит быстрое очищение от нижних ветвей в сомкнутых насаждениях (Нестеров, 1960). Темпы

прироста фитомассы древостоев снижаются по мере заселения ими безлесных территорий и повышения сомкнутости крон деревьев по причине увеличения конкуренции за ресурсы и усыхания ослабленных индивидуумов (Моисеев и др., 2019).

В работах, выполненных на верхней границе лесов с горными тундрами на Урале и в других субарктических регионах, показано климатогенное увеличение продуктивности древостоев (Нагимов и др., 2008; Григорьев и др., 2016; 2019; Kullman, Öberg, 2009).

При продвижении вглубь континента и в горы снижается фитомасса всех фракций деревьев (Усольцев, Залесов, 2005; Усольцев и др., 2014). При этом в холодных климатических поясах увеличение осадков приводит к снижению накопления фитомассы, а в теплых – к увеличению. Ухудшение условий роста приводит к уменьшению в первую очередь фитомассы хвои и ветвей, стволовая масса меняется в меньшей степени. Чем жёстче условия роста древесных растений, тем меньше доля надземной фитомассы в общем составе (Грабовский, Замолотчиков, 2019; Dulamsuren et al., 2013). Накопление общей надземной фитомассы и структурных частей зависит от биологических особенностей каждого вида и возраста. Все это соответствует данным полученным нами при исследовании надземной фитомассы древостоев массива гор Крака.

На основе выявленных изменений границы древостоев (сомкнутость 35-40%) и увеличения площади лесов на склонах горных массивов Южный, Средний и Северный Крака (см. пункт 4.3), нами произведен расчет увеличения фитомассы древостоев во всем массиве Крака. Выявленные нами малооблесенные и безлесные участки (всего 943) площадью 6559,8 га на Южном Крака; 1923,6 га - на Средний Крака и 3176,6 га - на Северном Крака за последние 30 лет заросли сомкнутым лесом на 958,6 га, 232,3 га, 892,7 га, соответственно (таблица 4.2). Для расчета увеличения запасов надземной фитомассы древостоев в исследуемом районе, мы умножили полученные значения разности площади на разницу между средним запасом фитомассы в сомкнутых лесах и редколесьях. Потому что редколесья и ранее обладали определенным запасом фитомассы, который в

последние десятилетия повышается по мере увеличения густоты и размеров составляющих их деревьев. Сомкнутые насаждения (покрытие крон 35-40%) формируются постепенно.

Наши расчеты показали, что в связи с увеличением площади лесов за последние 30 лет, запас фитомассы древостоев в экотоне увеличился на 32,8 т/га на Южном Крака, на 56,6 т/га на Северном Крака (см. таблицу 4.4). Так как на Среднем Крака профили не заложены, было принято решение, условно, увеличение фитомассы принять как средняя между двумя первыми, т.е. на 44,7 т/га (массив гор находится между Южным и Северным Крака). Заращение горных степей и продвижение границы леса привело к приросту общей надземной фитомасса древостоев в целом в массиве гор Южный Крака на 31,4 тыс. т, на 10,4 и 50,5 тыс. т в массивах Средний Крака и Северный Крака, соответственно.

Смещение границы лесов как следствие увеличение их площади на различных горных регионах мира в связи с изменениями климата, приводит к увеличению запасов фитомассы лесов в экотоне верхней границы леса (Усольцев, 2002; Григорьев и др., 2019).

Фитомасса деревьев в горах сильно зависит от места расположения на склоне, от которого зависит морфометрические параметры деревьев. В экстремальных условиях в формировании фитомассы наблюдаются закономерные изменения не только абсолютных значений фракций надземной фитомассы деревьев, но и соотношение их между собой.

5. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СКЛОНАХ ГОР КРАКА

Климат любой местности определяется балансом приходящих и уходящих потоков тепла и влаги, продолжительностью вегетационного сезона. Тепловой баланс зависит от количества поступающей солнечной радиации. Влагооборот в атмосфере неразрывно связан с количеством выпадающих осадков, их распределением во времени и пространстве. Большое влияние на круговорот влаги оказывают испарение и транспирация влаги растительностью, поверхностный сток и инфильтрация в нижние слои грунта. В горах продолжительность теплого сезона зависит от широты и высоты.

Важной составляющей является совокупность местных локальных условий произрастания: оврагов, балок, склонов разных экспозиций и крутизны, обнажений скалистых пород, свойств почвы и т.д.

Основным источником влаги в природе являются осадки в жидком и твердом виде. Большая часть осадков в горах расходуется на поверхностный сток, частично задерживаясь на поверхности почвы и растительностью, расходуясь на транспирацию и испарение в атмосферу. Твердые осадки, накапливаясь в зимний период, являются источником снабжения растений водой в начале вегетации, также предохраняют молодые растения от низких температур и механических повреждений, а почву от промерзания, обеспечивая тем самым проникновение талых вод в почву (Молчанов, 1950).

Опасно высокие и низкие температуры, недостаток влаги приводят растения в состояние температурного или вагодефицитного стресса.

5.1 Особенности метеорологических условий и климатические тренды

На Южном Урале в непосредственной близости к району исследований расположены метеостанции Башгосзаповедник (в 3–5 км от высотных профилей на Южном Крака) и Белорецк (в 10–15 км от профилей на Северном Крака), а на некотором отдалении Тукан, Учалы, Верхнеуральск, Сибай, Челябинск. На

станциях расположенных в непосредственной близости ряды наблюдений за климатом начались только после 30-х годов XX века. Более продолжительные метеонаблюдения проводились на станциях Верхнеуральск и Челябинск. Сопоставление данных по среднемесячным температурам и осадкам метеостанций Башгосзаповедник, станции Белорецк и станции Верхнеуральск, показывает идентичность не только между линейными трендами, но и между среднегодовым ходом (рисунки 22, 23). Поэтому изменение климата было проанализировано по данным метеостанции Башгосзаповедник. Достоверность трендов проверялись по критерию Фишера как достоверности линейной регрессии.

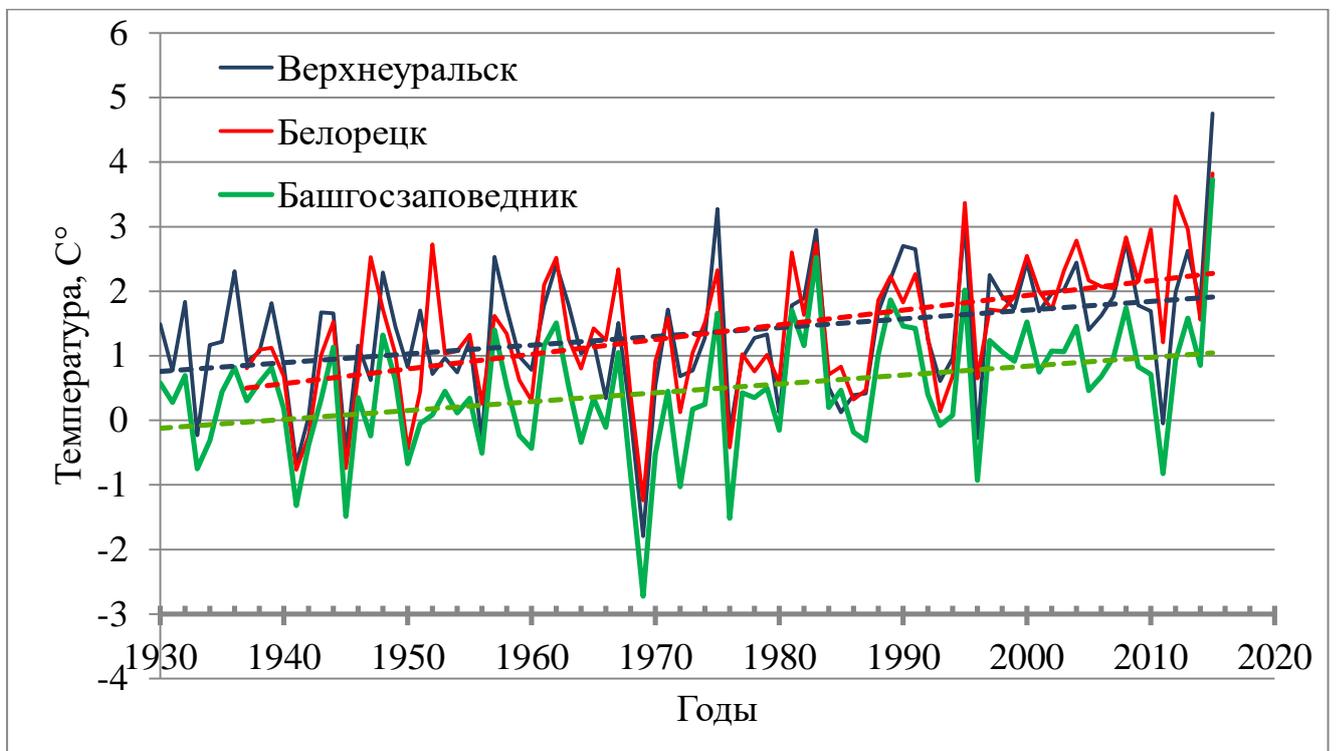


Рисунок 22 – Среднегодовая температура и линейные тренды по метеостанциям.

Для получения информации об изменении температурного режима были рассчитаны средние летние, зимние и годовые температуры. Для летнего и зимнего сезонов были установлены периоды: с мая по август и с ноября по апрель, соответственно.

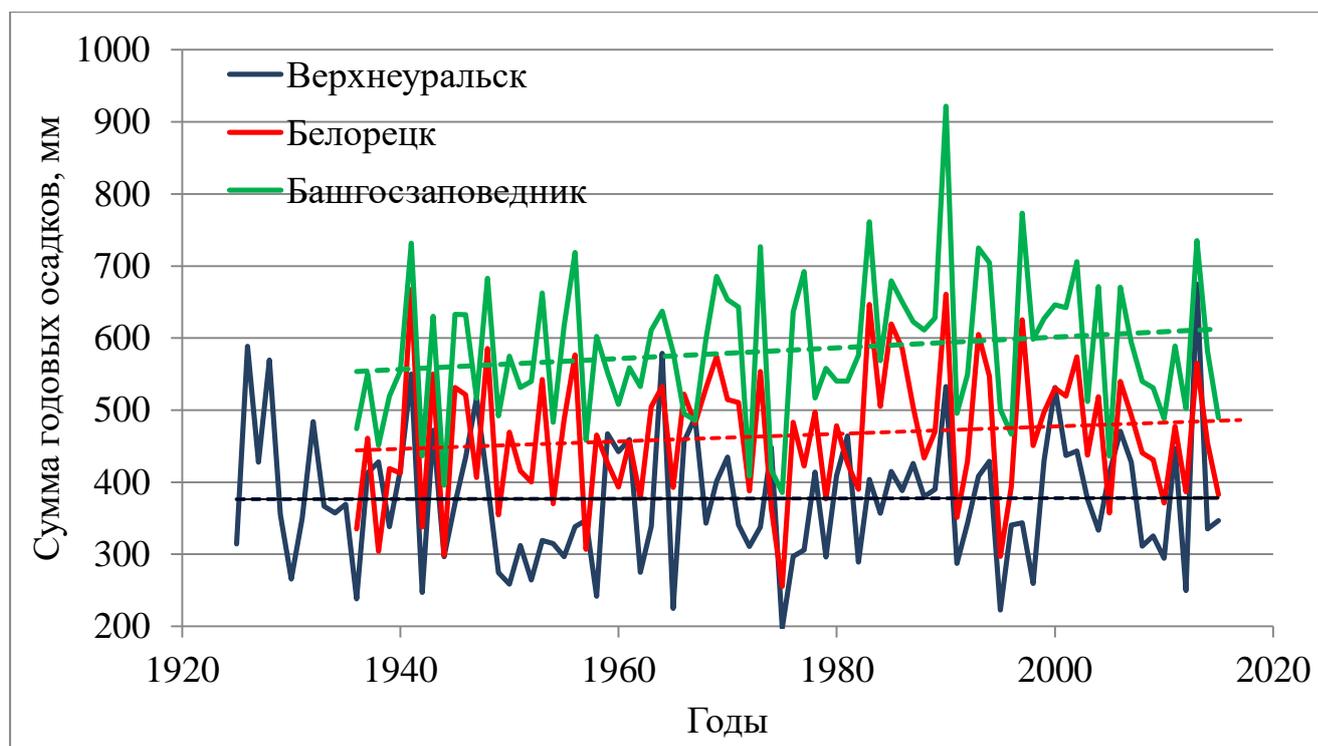


Рисунок 23 – Годовая сумма осадков и линейные тренды по метеостанциям.

Значения среднегодовых температур на всех станциях увеличиваются, о чем свидетельствуют линейные тренды. Так на метеостанции Башгосзаповедник с 1930 по 2015 гг. среднегодовая температура повысилась на 1,3 °С, в Верхнеуральске на 1,1 °С, хотя в целом среднегодовая температура здесь почти на 0,8 °С выше, чем первой. Заметно выше тренд на станции Белорецк, но ход среднегодовых температур не отличаются от данных метеостанции Башгосзаповедник (рисунок 22).

За все время наблюдений тренды годовой суммы осадков достоверно положительны за все время наблюдений только на станциях Башгосзаповедник и Белорецк. В Верхнеуральске, хотя и тренд положительный, но совсем незначительный (расположен в 111 км к северо-востоку от района исследования в зоне степей). На графике видно осадков выпадает больше на станции Башгосзаповедник: в среднем на 180 мм больше, чем в Верхнеуральске и на 100 мм – чем в Белорецке (рисунок 23). Значения средних годовых температур и осадков в летний и зимний периоды по данным метеостанции Башгосзаповедник приведены на рисунках 24 - 25.

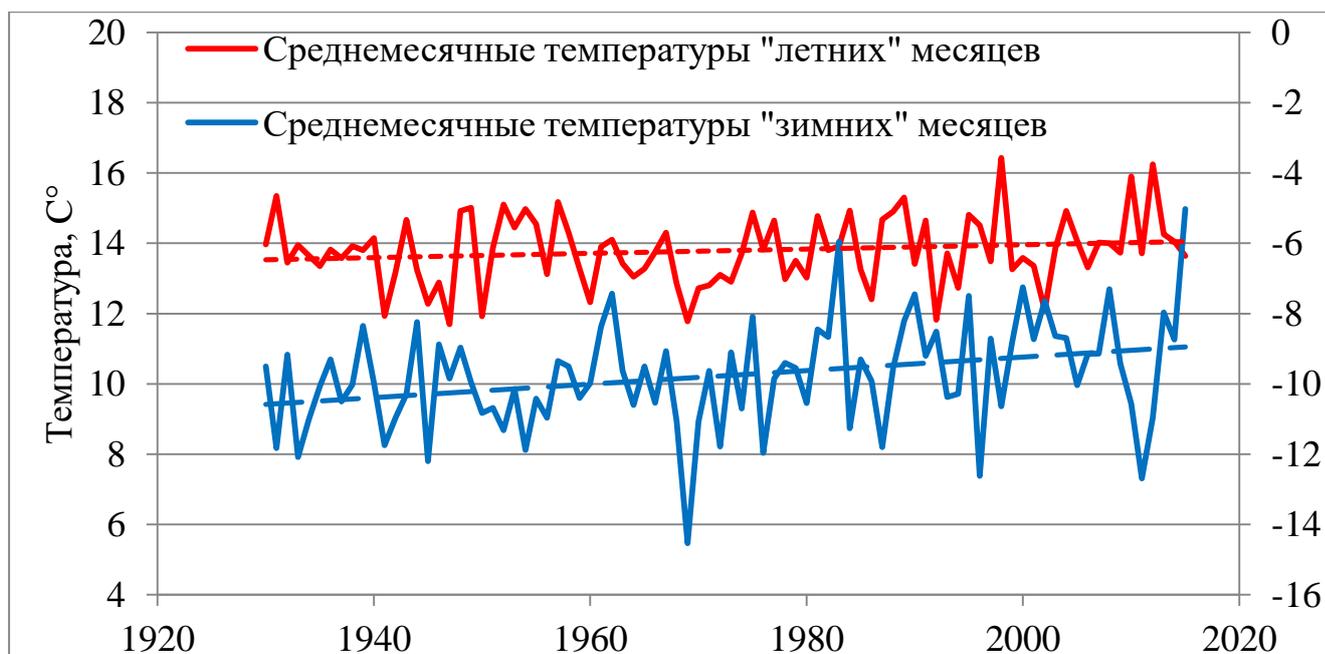


Рисунок 24 – Изменчивость средних температур в районе исследования по данным метеостанции Башгосзаповедник

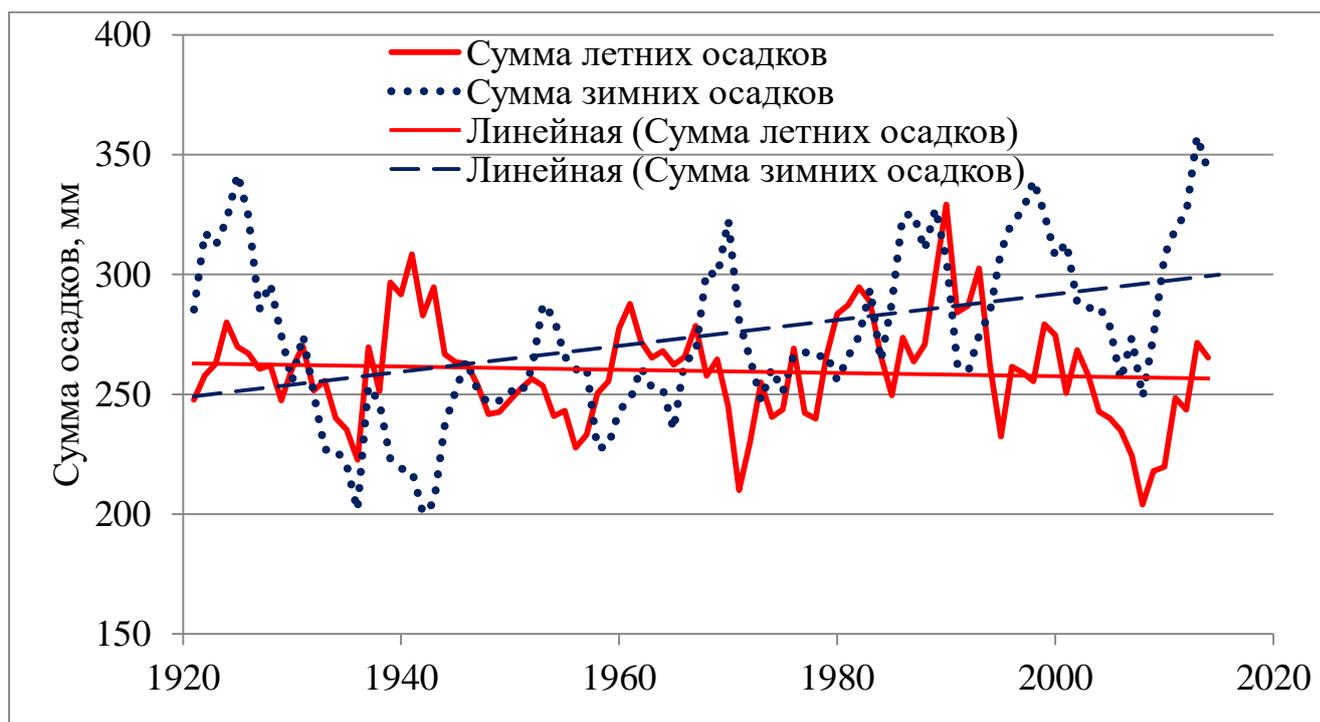


Рисунок 25 – Изменчивость суммы осадков в районе исследования по данным метеостанции Башгосзаповедник

На основании данных инструментальных наблюдений метеостанции «Башгосзаповедник» можно отметить, что повышение средней температуры более выражен в холодный период года, которая составляет с 1930 по 2015 гг.

1,3 °С, средняя температура вегетационного сезона увеличилась лишь на 0,3 °С (рисунок 22). При этом температуры в июне и июле стали выше на 0,2-0,6 °С, а в августе снизились на 0,1 °С. Существенно увеличились температуры ноября, которая составила 1,7 °С, и января на 1,5 °С, а температура февраля имеет отрицательную тенденцию. Близкие закономерности температуры воздуха отмечены в прилегающих районах. Например, на станции Верхнеуральск в мае–августе увеличение температуры составило 0,3 °С, а в октябре–марте 0,9 °С.

Анализ суммы осадков показывает значительное повышение тренда, которое достоверно только для зимнего времени, сумма осадков «лета» остается неизменной или чуть снижается. Заметное снижение осадков в теплое время года просматривается после 2000 г., при этом наиболее существенно понизилось в июне (примерно на 10 мм).

На Южном Урале в зоне контактов леса с экстрараональной горной степью резко континентальный климат накладывает свой отпечаток на древесные растения, которые произрастают в экстремальных условиях. Негативное влияние на древесную растительность климата проявляется в летнее время в высоких температурах и избытку солнечной инсоляции при недостатке влаги, который приводит к влагодефицитному стрессу. А зимний период в промерзании почвы, повреждении морозом, наземной части и корней молодняка в предельно низкие температуры. В межсезонье к резким колебаниям температуры.

По литературным данным, реакция популяций древесных видов на изменения климата может быть нелинейной, потому что любая экосистема имеет определенный запас устойчивости, способность противостоять колебаниям внешних факторов и сохранять свою структуру и функциональные особенности, продвижение границы леса может не совпадать по фазе с изменениями климата. Более того, изменения климатических, таких как мощность снегового покрова, влажность почвы и независимых от них факторов, особенности почвенного покрова, пожары или выпас может также вызвать изменения в лесных сообществах. Но, несмотря на комплексный характер воздействия, все же есть

веские доказательства, что изменения на границе леса и горных степей и ее смещение вызваны изменением климата (Taylor, 1995).

В целом можно сделать вывод о том, что климат Южного Урала в районе исследований в течение последних 80-100 лет стал более теплым и влажным. Установлено что существенный рост температуры, а также количества выпадающих осадков произошло наиболее заметно в холодное время года.

В летнее время после 2000 г. повысилось количество экстремально высоких температур, при этом наблюдается уменьшение количества и продолжительность низких отрицательных температур в зимний период.

Приведенный выше анализ метеоданных указывает на то, что полученные результаты хорошо согласуются с материалами подобных исследований в других районах, соприкосновения леса и степи в горах Южного Урала, Байкальского региона и Сибири (Волков и др., 2001; Вахнина, 2013; Бочаров, Савчук 2015; Волков, 2017; Моисеев и др., 2018, 2020; Anenkhnov et al., 2015; Xu et al., 2017).

5.2 Особенности распределения снежного покрова на исследуемых профилях

Выполненные нами снегомерные работы показали, что фоновая глубина снежного покрова на обследованных профилях варьирует в разные годы и, безусловно, напрямую зависит от количества твердых осадков выпавших в зимний период (таблица 5.1). Максимальная мощность снежного покрова за время исследования зафиксирована в 2017 г., чуть меньше в 2020 г., самая низкая глубина снега отмечена в 2018 г. В 2019 г. в твердых осадков за зимний период выпало мало, но глубина снежного покрова было немного выше, чем предыдущий 2018 г. Такие же результаты получены на метеостанции Башгосзаповедник, в 2018-2019 гг. высота снежного покрова ниже среднемноголетних (с 1950 по 2015 гг.) на 30-40 см, 2020 г. на уровне среднемноголетних, в 2017 году на 12 см выше (Справка о состоянии..., 2017; Экологический мониторинг..., 2018, 2019). Особенности снегонакопления в массиве Крака характеризуются значительной пространственной изменчивостью и неоднородностью, свойственными

Таблица 5.1 – Средняя (\pm станд. откл.) высота снежного покрова, запасы воды (\pm станд. откл.) и плотность снега на разных высотных уровнях в экотоне лес–горная степь в массиве гор Крака, Южный Урал

Год	Массив	Показатель	Глубина снега, см			Запасы воды, мм			Плотность снега, кг/см		
		Уровень Профиль	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2017	Южный Крака	1 – Большой Башарт	85,9 \pm 27,0	88,1 \pm 11,3	90,4 \pm 7,7	195,3 \pm 61,5	223,4 \pm 11,3	229,1 \pm 7,7	0,23	0,25	
		2 – Башарт	67,8 \pm 27,9	82,4 \pm 10,2	80,5 \pm 5,3	143,3 \pm 27,9	162,6 \pm 10,2	158,8 \pm 5,3	0,21	0,20	
		3 – Авдэктэ	42,8 \pm 11,0	62,7 \pm 11,8	69,4 \pm 6,9	88,5 \pm 11,0	126,3 \pm 11,8	139,8 \pm 6,9	0,21	0,20	
		Средняя	67,9	79,6	80,1	143,8	173,1	175,9	0,215	0,217	
	Северный Крака	7 – Шигай	27,8 \pm 19,1	50,1 \pm 30,4	80,4 \pm 19,2	68,5 \pm 19,1	109,4 \pm 30,4	175,8 \pm 19,2	0,25	0,22	
2018	Южный Крака	1 – Большой Башарт	29,9 \pm 11,9	49,0 \pm 9,0	42,2 \pm 6,7	70,8 \pm 27,1	103,0 \pm 16,4	78,5 \pm 12,5	0,234	0,208	0,186
		2 – Башарт	25,6 \pm 9,8	28,8 \pm 7,8	36,4 \pm 6,4	55,5 \pm 22,0	57,7 \pm 17,6	67,6 \pm 11,8	0,217	0,207	0,186
		3 – Авдэктэ	20,4 \pm 9,1	27,0 \pm 6,9	34,9 \pm 5,9	50,6 \pm 22,6	47,7 \pm 12,1	70,3 \pm 11,9	0,246	0,176	0,201
		4 – Полигон	26,9	27,6	41,4	48,8	49,2	77,3			
		Средняя	25,7	33,1	38,7	56,4	64,4	73,4	0,232	0,197	0,191

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018	Северный Крака	5 – Суртанды	37,1±5,5	43,9±6,7	45,0±6,8	70,9±9,9	81,3±12,1	88,2±13,6	0,194	0,185	0,196
		6 – Малый Саргая	33,3±10,1	38,3±7,4	38,2±8,4	63,7±19,6	67,3±12,7	82,8±18,0	0,193	0,175	0,218
		7 – Шигай	31,3±15,2	38,2±11,9	39,9±8,5	66,0±31,3	92,0±28,0	74,8±15,8	0,209	0,239	0,188
		8 – Центр-ый Акбиик	61,4±9,0	58,2±9,3	58,0±7,9	110,6±17,7	99,9±16,4	122,3±16,5	0,182	0,174	0,210
		Средняя	37,5	43,7	43,7	73,1	84,1	89,8	0,200	0,195	0,206
2019	Южный Крака	1 – Большой Башарт	33,6±11,3	72,7±8,9	62,7±6,8	64,4±21,7	127,4±15,5	115,3±12,5	0,192	0,175	0,184
		2 – Башарт	37,2±11,7	58,4±11,9	60,5±6,1	62,9±19,8	97,4±19,9	101,8±10,2	0,169	0,167	0,168
		3 – Авдэктэ	42,3±12,6	48,7±5,8	51,7±5,1	113,4±33,7	111,8±16,4	110,3±10,8	0,268	0,239	0,213
		4 – Полигон	40,0±15,5	47,4±14,4	63,7±16,2	72,6±28,1	84,4±25,7	119,1±30,3	0,182	0,178	0,187
		Средняя	38,3	56,8	59,7	78,4	105,3	111,6	0,203	0,190	0,188
	Северный Крака	5 – Суртанды	50,2±10,9	52,7±7,9	51,5±4,1	101,2±21,9	95,3±14,4	94,2±7,4	0,202	0,181	0,183
		6 – Малый Саргая	29,0±9,9	46,9±8,9	52,5±5,5	48,1±16,5	80,9±15,4	84,6±8,9	0,166	0,172	0,161
		7 – Шигай	34,5±8,5	63,3±20,3	61,1±10,8	75,0±18,6	123,1±39,4	94,9±16,8	0,217	0,194	0,155
		8 – Центр-ый Акбиик	32,2±6,6	48,7±8,3	54,2±7,3	64,3±13,3	85,2±14,5	91,6±12,3	0,200	0,175	0,169
		Средняя	36,4	52,9	54,8	72,2	96,1	91,3	0,196	0,181	0,167

Окончание таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2020	Южный Крака	1 – Большой Башарт	73,8±26,0	84,4±14,0	85,5±6,9	150,9±53,2	169,9±28,2	183,3±14,8	0,204	0,201	0,214
		2 – Башарт	75,2±18,3	74,3±12,2	71,3±4,3	180,4±43,8	175,1±28,7	152,2±9,2	0,240	0,236	0,213
		3 – Авдэктэ	54,1±7,0	65,2±7,3	67,2±6,3	119,1±15,4	137,6±15,4	143,4±13,5	0,220	0,211	0,214
		4 – Полигон	69,7±18,0	72,6±10,7	75,6±8,7	162,2±41,8	178,8±26,4	177,1±20,5	0,233	0,246	0,234
		Средняя	68,2	74,1	74,9	153,2	165,3	164,0	0,224	0,224	0,219
	Северный Крака	5 – Суртанды	45,7±8,5	61,2±10,9	59,2±6,4	118,6±51,4	141,8±25,3	127,7±13,8	0,248	0,232	0,216
		6 – Малый Саргая	39,0±13,5	49,4±11,8	47,6±6,0	113,8±39,4	116,2±27,8	115,6±14,6	0,292	0,235	0,243
		7 – Шигай	28,9±16,2	52,9±23,3	65,9±15,0	85,2±47,7	149,7±65,8	153,7±35,1	0,295	0,283	0,233
		8 – Центр-ый Акбиик	36,0±10,8	55,8±13,7	55,5±13,9	104,7±31,4	140,8±34,7	148,0±37,0	0,291	0,253	0,266
		Средняя	37,4	54,8	57,0	105,6	137,1	100,8	0,281	0,251	0,240

для горных условий и зависят от геоморфологической специфики гор.

Из таблицы 5.1 видно, что суммарные средние показатели мощности снежного покрова по всем профилям на горных массивах Южный и Северный Крака в разные годы отличаются, но разница небольшая, составляет 10-15 см. Ежегодного преобладания глубины снежного покрова в северной или южной части массива не выявлено. Варьирование глубины снега на разных профилях, а так же высотных уровнях не имеет какой либо закономерности. В пределах массива на некоторых высотных уровнях, может отмечаться резкое отличие средней глубины снега от остальных участков на 20-30 см. Различия высоты снежного покрова связаны с крутизной, особенностями микрорельефа склона и направлением господствующих ветров.

В 2017 г. на Северном Крака снегомерные работы проводились только на профиле 7 – Шигай, так как остальные профили были заложены позже. Если 2018 г. средняя глубина снега была выше на 6-15 см в массиве гор Северный Крака, то 2019 г. она была ниже на 2-6 см, чем на Южном. Существенно выше глубина снега на Южном Крака в 2020 г., соответственно и запас влаги в нем. Так же для 2020 г. характерна наибольшая плотность снега, по сравнению с другими годами, связанная с выпадением большого количества мокрого снега во второй половине зимы. На всех профилях высота снежного покрова закономерно уменьшается от нижнего к верхнему высотному уровню. При этом наиболее значительное уменьшение высоты снежного покрова на склоне наблюдается при переходе от среднего уровня к верхнему. В отдельные годы на некоторых профилях осредненная глубина снега на среднем уровне почти равна или даже больше чем на третьем уровне, что связано с его задержкой более густой древесной и кустарниковой растительностью, как следствие накоплением снежных масс, перенесенных ветром с безлесных верхних частей склона. Минимальные и максимальные значения глубины снега варьируют очень сильно даже в пределах одного высотного уровня, об этом свидетельствует, стандартное отклонение средних показателей. Наибольшая неоднородность снежного покрова проявляется преимущественно на участках с выраженным явлением перераспределения

ветром снега и задержкой его древесно-кустарниковой растительностью. Сдувание снежных масс также происходит с уступов и ребер склона на понижения мезорельефа лога и впадины. На таких участках глубина снега может выше средних значений в 2-3 раза. Максимальная вариабельность отмечается на среднем высотном уровне, наиболее равномерное распределение снега отмечается на границе сомкнутых лесов, где перенос снега гасится снегозадерживающим эффектом древесных растений.

Из таблицы 5.1 прослеживается, наибольшие отклонения от средних величин наблюдается во все годы исследований на профилях 7 – Шигай и 6 – на горе Малый Саргая на Северном Крака и на профилях 1 и 3 на Большой Башарт и Авдэктэ на Южном Крака. Следует отметить, что в вышеназванных профилях наблюдается самая большая неравномерность мезорельефа.

С гребневой части хребта происходит постоянное выдувание снега, где ветровая нагрузка самая сильная, для ее задержки практически нет растительности, поэтому во всех исследуемых профилях глубина снега на гребне составляет всего 5-7 см. А в подветренной части создаются снежные надувы и скопление снежных масс.

Запас влаги, содержащийся в снеге напрямую зависит от ее мощности и плотности. Проведенный анализ показывает, что глубина снега и количество воды в нем имеют очень высокие корреляционные связи (коэффициент детерминации выше 0,84) (рисунок 26). Плотность снега значительно не отличается на разных исследуемых профилях за все время исследований, в отдельные годы ее динамика согласованно флуктуирует в зависимости от количества, режима и условий выпадения осадков. Связь с запасом влаги отсутствует. Соответственно содержание запаса влаги на склоне зависит от глубины снега и имеет аналогичное мощности снежного покрова пространственное распределение. Плотность снега выше на верхнем и среднем высотных уровнях, чем на нижнем высотном уровне и увеличивается при уменьшении глубины снега. На Южном Крака в целом наблюдается более плотный снежный покров по сравнению с Северным Крака.

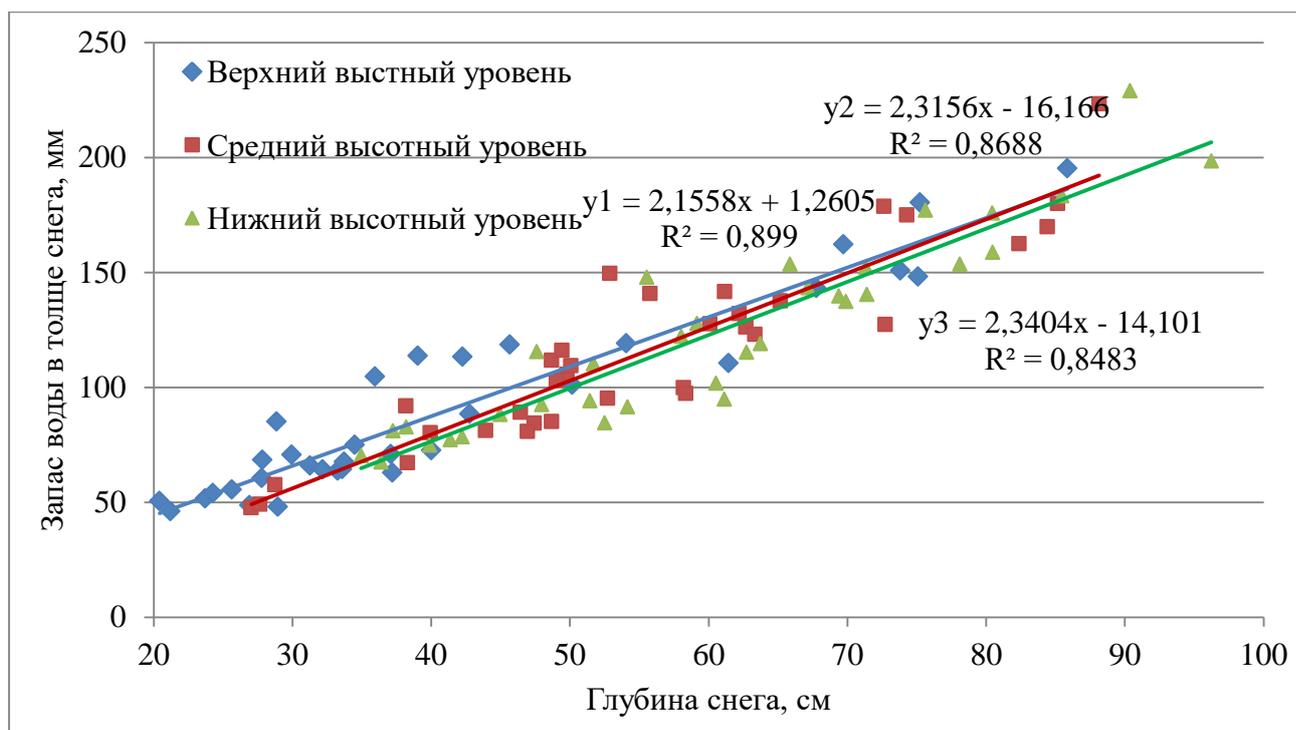


Рисунок 26 – Зависимость запаса воды от глубины снега на разных высотных уровнях

Итак, глубина снежного покрова на исследуемых склонах крайне неравномерна. Снегонакопление зависит от высоты, ветровой особенности склона, рельефа и плотности древостоя. В верхних частях склонов и на гребне хребтов выпавший снег практически не задерживается и переносится в нижние части и понижения мезорельефа. На среднем уровне самое большое варирование глубины снега. Так, на мезоповышениях снежный покров может вообще отсутствовать, а в логах снег накапливается и его глубина достигает более 2 м. Относительно равномерный снег и наибольшая его средняя глубина наблюдается на границе сомкнутых лесов, третьем высотном уровне.

Аналогичные результаты получил С.В. Кириков (1963), изучая в течении 5 лет с 1942 по 1946 годы, распределение снега в юго-восточной части Южного Урала, с наибольшей детальностью в двух горно-лесных районах Южный Крак и Урал-Тау, входивших в Башкирский заповедник. С.В. Кириков отмечает, что от высоты местности зависит сроки установления и схода снежного покрова. На Южном Краке равномерное распределение резко нарушается после первой же метели, зависит от ветров, экспозиции и облесенности склона, все более

увеличиваясь к концу зимы. Наименьшая глубина снега фиксируется на безлесных вершинах отрогов, откуда не только выдувается, но и испаряется, наибольшая - в лесных подветренных склонах куда ветер накапливает снежные массы. Средняя глубина снега зависит от количества осадков в зимний период.

Режим снегонакопления на этих участках склона влияет на степень промерзания почв, что, в свою очередь, приводит к выжиманию и промерзанию корней молодых деревьев, снежной абразии, иссушению кроны солнечными ожогами. Понижение температуры почвы ниже -4°C и ее промерзание на глубину до 25-30 см приводят к увеличению с 14 до 28% доли отмерших мелких корней и нарушению симбиотических взаимоотношений с микоризными грибами, что значительно уменьшает количество всасываемых из почвы азота и фосфора (Tierney et al., 2001). Небольшая глубина снега, помимо сильного промерзания почвы, также определяет его быстрое таяние и последующее иссушение почвы в начале вегетационного сезона, что существенно отражается на древесной растительности, особенно самом уязвимом ее компоненте – самом молодом поколении, на что указывает малое количество подроста на верхнем уровне.

5.3 Характеристика почв и их влажность по горизонтам на высотных профилях в экотоне лес–горная степь

На исследуемых участках морфологический облик почв чрезвычайно прост. Почва представляет небольшой по мощности гумусированный слой, обычно включающий в себя большое количество обломков коренных пород. В большинстве случаев этот слой сильно задернован по причине переплетения в нем густой сети корневых систем травянистых растений.

На склонах массива гор Южный Крака на верхнем уровне мощность почв существенно выше, чем на Северный Крака, составляя в среднем от 7,3 см до 14,3 см. Тогда как на профилях Северного Крака толщина слоя почво-грунта составляет здесь 5-7 см, с очень частыми обнажениями материнской породы, и накоплением мелкозема на уступах и порогах (ступенях) склона. Здесь из-за очень

малой мощности и однородности почвенного профиля описание горизонтов почвы не проводилось (см. таблицу 5.2). Ниже, на втором и третьем высотном уровнях мощность почв постепенно увеличивается. На втором уровне на горы Авдэктэ средняя глубина почв самая минимальная – 18,6 см, и на профиле 7 – Шигай выявлено максимальная глубина – 29,8 см. В пределах второго высотного уровня мощность почвенного профиля повсеместно сильно варьирует и зависит от особенностей микрорельефа и крутизны склона. На третьем высотном уровне наблюдается в целом аналогичная картина, как и на втором высотном уровне, но при большей глубине почвенного профиля, и с более выраженной дифференциацией почвенных горизонтов, а также с меньшим содержанием обломков материнской породы. Даже на третьем высотном уровне встречаются выступы подстилающей породы. В редких случаях (ложбины стока) глубина почвенного профиля превышает 40 см, при этом горизонты плохо выражены, верхний элювиальный слой мощный (до 25 см) перемешан обломками щебня, что является следствием эрозионного переноса почвенных частиц с повышенных частей склона.

Таблица 5.2 – Средняя (\pm стандартное отклонение) глубина нижней границы горизонта почвы, влажность и запасы воды на разных высотных уровнях профилей

Профиль	Уровень	Дата измерения	Глубина нижней границы горизонта почвы, см				Влажность почвы (в %) на				Запас воды, л./м ²
			A0	A1	AB	B	5 см	10 см	20 см	30 см	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Южный Крака											
I	1	19.06	0,5 $\pm 0,1$	3,7 $\pm 1,2$	-	7,3 $\pm 2,3$	9,6 $\pm 3,1$	-	-	-	9,6 $\pm 3,1$
I	3	19.06	1,9 $\pm 1,1$	7,2 $\pm 3,4$	11,9 $\pm 3,4$	26,5 $\pm 4,5$	11,3 $\pm 4,5$	13,7 $\pm 4,4$	10,5 $\pm 3,4$	7,6 $\pm 3,0$	33,7 $\pm 11,6$
II	1	24.06	0,5 $\pm 0,1$	3,5 $\pm 1,1$	-	7,5 $\pm 2,0$	7,0 $\pm 3,0$	-	-	-	7,0 $\pm 2,0$

Окончание таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
II	2	24.06	1,3 ±1,0	10,4 ±3,0	13,1 ±3,8	22,5 ±5,7	5,8 ±2,6	9,4 ±2,7	8,1 ±3,3	-	20,4 ±7,2
II	3	24.06	2,2 ±1,0	9,9 ±5,2	11,9 ±5,5	24,5 ±6,5	6,2 ±2,6	9,8 ±3,0	8,3 ±3,0	6,0 ±2,7	24,3 ±8,7
III	1	25.06	0,7 ±0,3	6,7 ±4,7	-	14,3 ±4,0	4,9 ±2,3	9,7 ±2,6	-	-	6,4 ±4,5
III	2	25.06	1,2 ±0,8	6,7 ±4,6	9,3 ±5,5	18,6 ±7,2	5,9 ±2,4	8,7 ±2,3	8,7 ±2,3	-	20,4 ±5,8
III	3	25.06	1,4 ±1,1	5,3 ±3,4	7,2 ±3,9	20,1 ±8,0	7,4 ±2,9	11,0 ±3,1	10,6 ±2,2	7,7 ±1,9	29,2 ±7,6
Северный Крака											
V	1	12.07	0,5 ±0,1	3,4 ±1,1	5,1 ±1,1	-	6,0 ±1,8	-	-	-	3,6 ±0,9
V	2	12.07	1,1 ±0,9	8,3 ±2,9	10,3 ±3,4	28,9 ±6,7	23,7 ±6,3	28,3 ±5,8	26,3 ±3,0	25,6 ±2,9	79,2 ±13,3
V	3	12.07	0,8 ±0,3	9,0 ±4,2	11,5 ±4,7	30,3 ±7,1	24,4 ±6,6	30,7 ±7,0	27,8 ±7,3	30,2 ±7,1	85,8 ±21,2
VI	1	22.07	0,7 ±0,3	3,8 ±2,8	5,5 ±1,2	11,7 ±4,5	29,1 ±5,5	-	-	-	29,1 ±5,1
VI	2	22.07	0,9 ±0,8	8,4 ±2,9	10,1 ±3,3	27,3 ±6,4	23,7 ±6,3	28,3 ±5,8	26,3 ±3,0	27,1 ±2,8	80,0 ±13,3
VI	3	22.07	1,3 ±0,5	5,6 ±1,5	7,1 1,4	25,7 ±8,1	18,5 ±4,9	21,9 ±4,9	21,0 ±2,8	22,0 ±2,8	63,1 ±16,1
VII	1	16.06	0,5 ±0,1	3,7 ±1,2	5,3 ±1,2	-	12,3 ±3,9	-	-	-	7,4 ±1,8
VII	2	16.06	1,4 ±1,2	11,1 ±4,8	14,7 ±5,7	29,8 ±9,1	14,6 ±4,6	17,2 ±5,3	17,4 ±3,1	22,0 ±3,5	52,9 ±4,2
VII	3	16.06	1,9 ±1,1	6,3 ±2,0	11,8 ±3,9	29,9 ±7,2	11,5 ±3,9	14,1 ±4,0	15,9 ±2,4	12,2 ±1,9	41,8 ±9,3
VIII	1	15.06	0,5 ±0,1	3,5 ±1,1	5,0 ±1,3		23,7 ±4,9				14,2 ±2,9
VIII	2	15.06	1,6 ±1,0	8,2 ±3,5	12,2 ±4,3	23,8 ±10,3	19,9 ±4,8	23,0 ±5,2	23,5 ±3,3	23,8 ±3,0	68,3 ±12,4
VIII	3	15.06	2,7 ±1,2	8,6 ±3,4	11,3 ±3,8	27,5 ±7,4	19,0 ±6,5	24,1 ±7,2	24,5 ±3,5	22,5 ±3,3	69,4 ±15,6

Из таблицы 5.2 видно, средняя глубина почв на профилях массива Северный Крака на верхнем уровне меньше на 2-5 см, чем на Южном. Наоборот, на средних и верхних уровнях, мощность почвенного профиля выше на Северном

Крака. Очень большие значения стандартного отклонения указывают на сильную вариабельность глубины почв даже в пределах одного высотного уровня, что свидетельствует о пестроте неоднородности почв и изменчивости эдафических условий.

Исследования содержания влаги в почве показали, что ее пространственное распределение напрямую зависит от мощности почвенного профиля и положения в пределах экотона (высотного уровня). Также выявлено, что влажность почвы снижается при увеличении количества включенного в грунт щебня. Содержание влаги в почве выше на профилях, где исследования проводились в более ранние сроки вегетации (см. таблицу 5.2), когда они еще в достаточно большой степени насыщены талыми водами (профили 7 – Шигай и 8 – Центральный Акбиик), или спустя 2-3 дней после выпадения осадков (5 – Суртанды и 6 – Малый Саргая).

Распределение почвенной влаги по горизонтам почвы идентично на всех исследуемых участках. Содержание влаги минимально на поверхности (0-5 см. глубина сенсоров влагомера), откуда происходит интенсивное испарение, а более высокие показатели наблюдаются, где развит живой напочвенный покров и присутствует подстилка (рисунок 27).

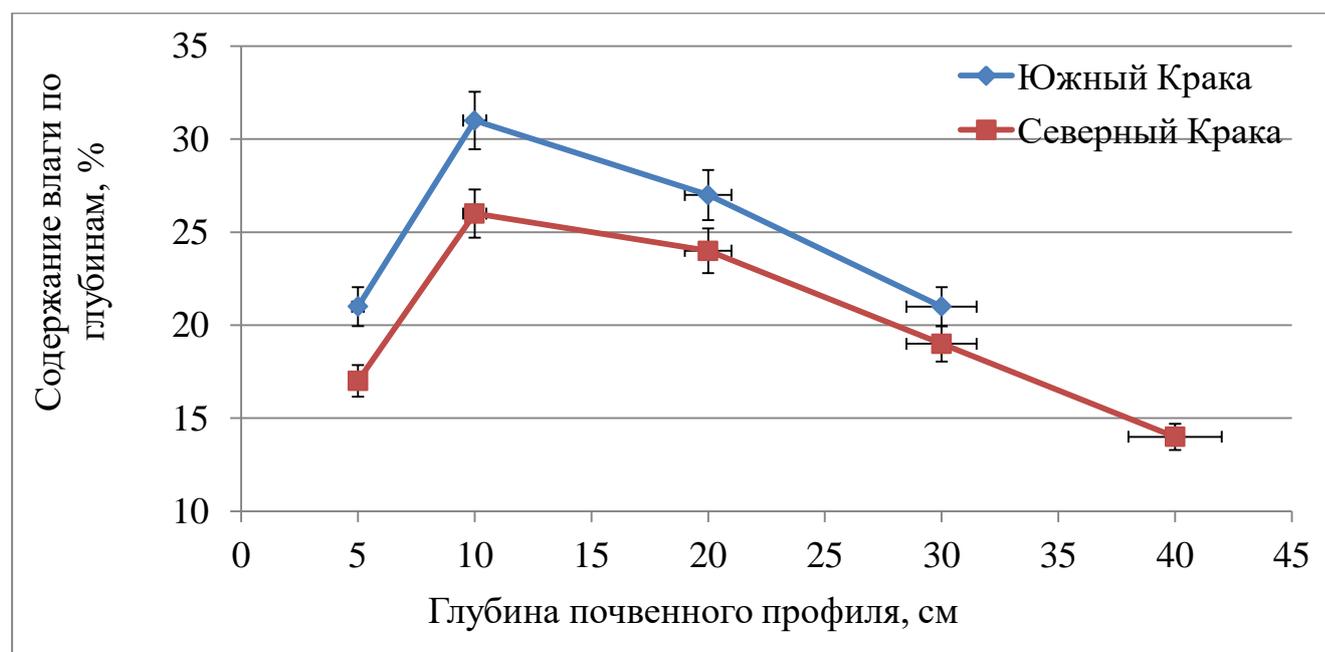


Рисунок 27 – Содержание влаги (стандартные ошибки) по глубинам почвенного разреза

Максимальное содержание влаги отмечается на глубине 10 см. Это, вероятно, объясняется обычно расположением здесь самого влагоемкого горизонта почвы – гумусового и самым меньшим содержанием щебня, а также инфильтрацией поступающей влаги с верхних слоев. Глубже (на 20 и 30 см) содержание влаги постепенно снижается.

Таким образом, глубина почв на исследуемых склонах крайне неравномерна, при этом она включает в себя большое количество обломков коренных пород. В верхних частях склонов толщина слоя почв очень низкая, вследствие интенсивных процессов денудации. Мощность почвы увеличивается с верху вниз по склону, но даже на границе сомкнутых насаждений встречается выступы коренных пород.

Влажность почв также сильно варьирует даже в пределах одной площадки, максимальное количество влаги содержится на глубине 10 см., а общее содержание влаги в почве зависит от мощности почвенного профиля и количества щебня в грунте.

Известно, что влажность почв зависит от многих факторов: метеорологических условий, структуры почв, особенностей рельефа и растительности. Поэтому, исследования влажности почв на склонах гор Крака требует дальнейшего детального изучения, в первую очередь автономными почвенными влагомерами.

5.4 Факторы определяющие возобновление деревьев на остепненных склонах

Количество появившихся деревьев на исследуемых профилях напрямую зависит от влияния комплекса климатических факторов. Самыми важными являются температура и обеспеченность влагой.

Мы провели анализ связи возобновления деревьев на исследуемых профилях с гидротермическим режимом среды. Корреляционные связи проверены со среднегодовой температурой воздуха, среднемесячной температурой летнего и

зимнего сезонов, абсолютными минимальными и абсолютными максимальными температурами. Также оценку зависимости с количеством осадков за год, в теплый и холодный период. Наши расчеты показали периоды интенсификации возобновления деревьев с температурой воздуха за период с 1930 по 2015 гг. не обнаружено. Выявлена незначительная отрицательная связь с максимальными летними температурами. Между остальными исследуемыми температурными параметрами корреляция не достоверна или отсутствует совсем. На Южном Урале, где количество тепла и продолжительность вегетационного сезона достаточна для онтогенеза светлохвойных насаждений, воздействие температуры воздуха на деревья не является основным фактором. Что подтверждается исследованиями, которые приведены выше (Шиятов и др., 1992; Агафонов, Кукарских, 2009; Кучеров, 2010; Allen et al., 2009; Hellmann, 2016).

Анализ зависимости с количеством осадков показал более значимые корреляционные связи. В специальной литературе указывается, что развитие древесных растений в влагодефицитных районах в большинстве случаев зависит от количества осадков в вегетационный период. В массиве гор Крака влияние осадков в мае-августе на возобновление, в редирах – верхний и редколесьях – второй уровень не обнаружены, связи были незначимыми. Тесные связи ($R^2=0,65$) между количеством деревьев в возрастных группах и количеством осадков в летние месяцы были найдены нами лишь для периода между 1930 и 1950 гг. для древостоев, произрастающих в нижних частях экотона лес-горная степь.

Как видно из приведенных результатов исследований (рисунки 8-15), всплеск возобновления в период после 1975 г. происходил активно на всех профилях, как на современной границе сомкнутых лесов и редколесий, так и на участках, прилегающих к горным степям. Анализ зависимости количества деревьев в возрастных группах (по пятилетиям) среднее по всем 8 профилям (рисунок 28), от суммы осадков предшествующего холодного периода (с октябрь по апрель) показал, что до 1970 г. влияние зимних осадков на появление деревьев было не выражено или связи были незначительными, а в период с 1975 по 2005 гг.

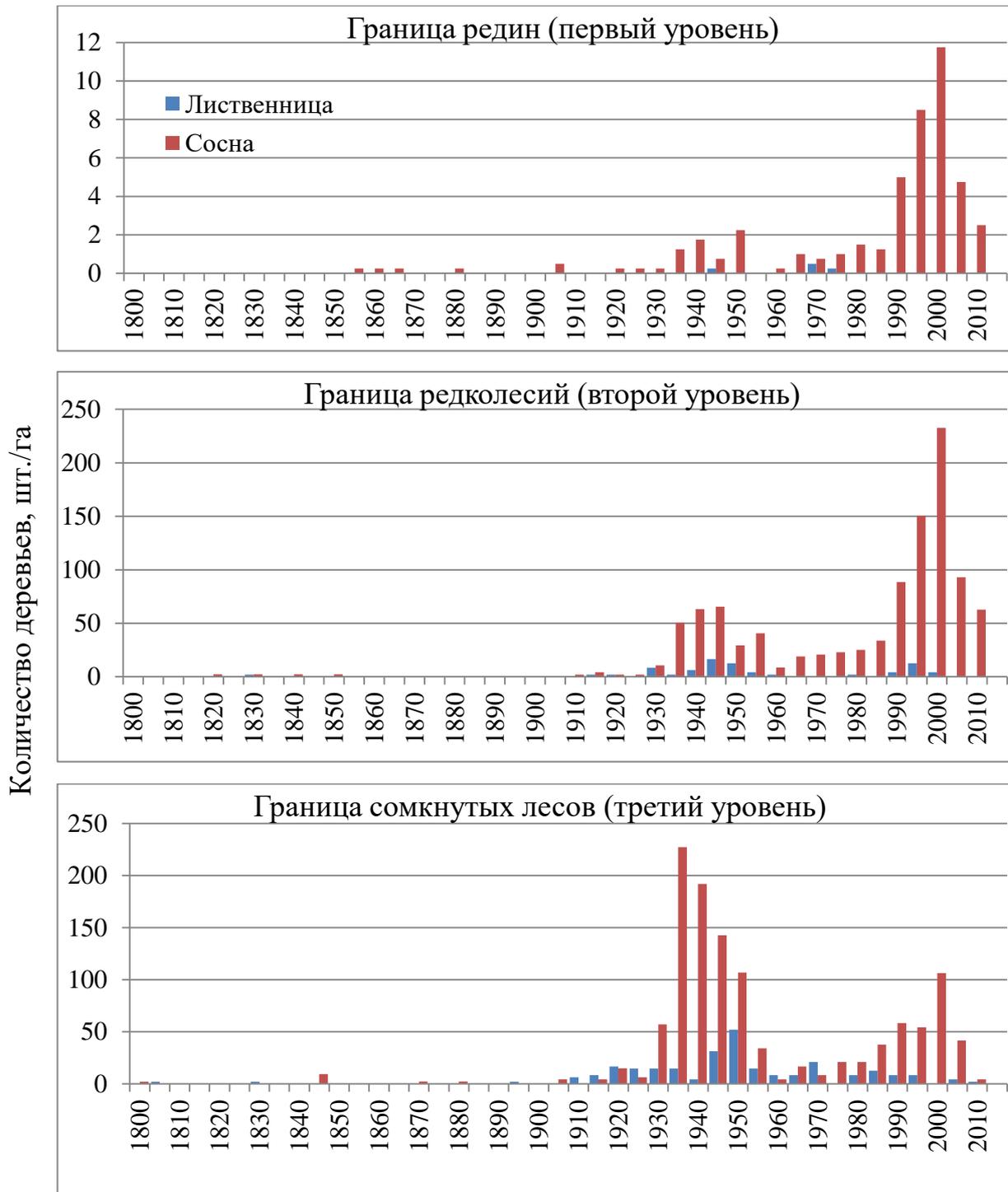


Рисунок 28 – Возрастная структура древостоев на разных уровнях профилей на горном массиве Крака

на всех высотных уровнях в переходной зоне от сомкнутого леса до горных степей наблюдалась явная зависимость лесовозобновления от количества зимних осадков ($R^2=0,61-0,74$).

Положительное влияние зимних осадков на рост деревьев, на активное возобновление в засушливых районах показано во многих работах, где указывается что снег, обладая низкой теплопроводностью, защищает почву от промерзания, а это способствует уменьшению расходов на поверхностный сток и накоплению влаги в почве во время весеннего снеготаяния. В некоторых областях в весенний период единственным источником почвенной влаги являются талые воды (Вахина, 2013; Аненхонов и др., 2014; Jakubos, Romme, 1993).

На наш взгляд, разность возобновления древостоев к количеству зимних осадков по периодам (до и после 1970 г.) обусловлено снижением степени промерзания поверхностного слоя почвы в связи с повышением температуры воздуха и количества осадков зимой и более быстрым оттаиванием ее весной. Что способствовало увеличению доли проникающей в почву влаги после таяния снега, накоплению и использованию в начале вегетационного сезона деревьями, когда ростовые процессы происходят очень активно (рисунок 29).

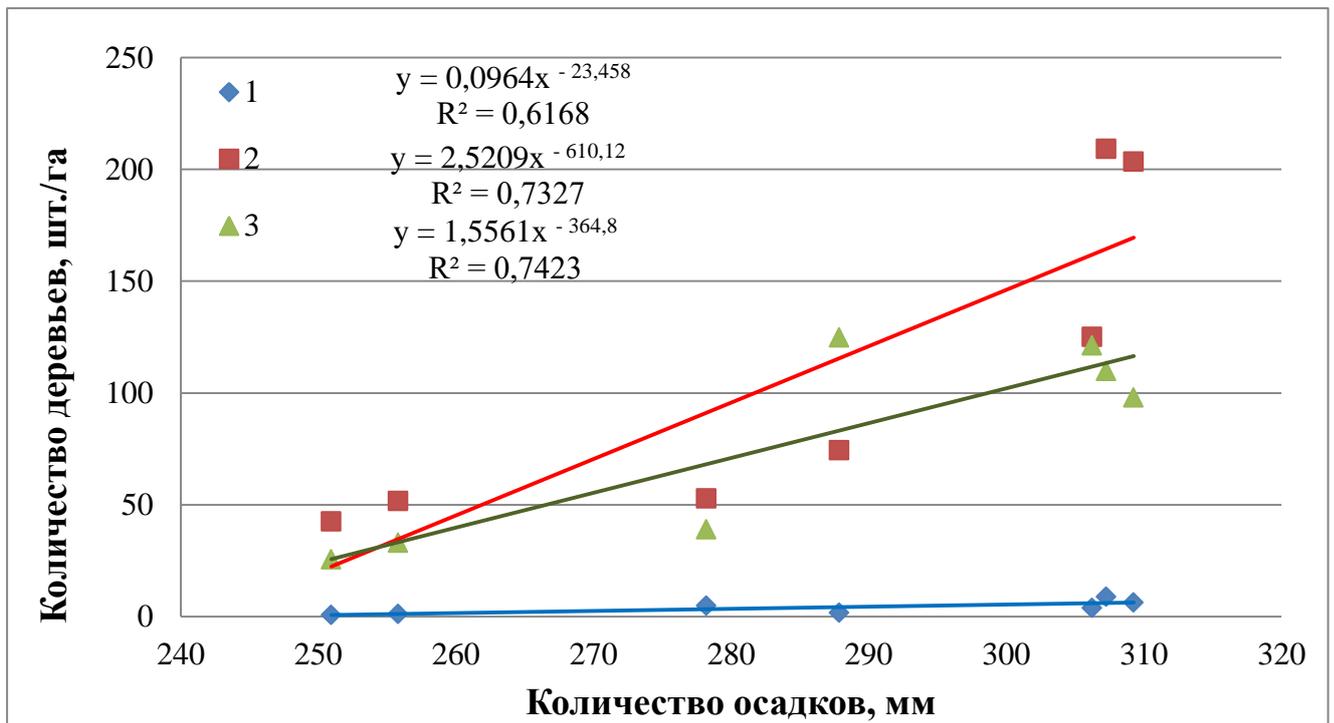


Рисунок 29 – Зависимость количества деревьев в 5-летних возрастных группах (среднее по всем профилям) от суммы осадков предшествующего холодного периода (с октября по апрель) осредненные по пятилетиям в 1975 -2005 гг.: 1 – 1 уровень; 2 – 2 уровень; 3 – 3 уровень

Как было показано в главе 4 при оценке изменения площади лесов, что сомкнутые древостои в основном сформировались в нижних частях остепненных склонов, логах и микропонижениях рельефа. Далее было выявлено, что здесь накапливается самое большое количество снега, и самая большая мощность почв. Как следствие в нижних частях склона, и в пониженных участках влажность почвы значительно выше по сравнению с верхними частями склонов.

Результаты анализа связей подтверждают, между количеством учтенного на площадках подроста (таблица 4.1) и запасами влаги в снеге (таблица 5.1) и почве (таблица 5.2), показали высокую корреляцию с тем, что при увеличении запаса влаги в толще снега и увеличения влажности почвы по мере продвижения вниз по профилю и уменьшения высоты на фоне возрастания густоты древостоев и их общей семенной продуктивности в 2-3 раза количество живого подроста возрастает в десятки раз (рисунки 30, 31).

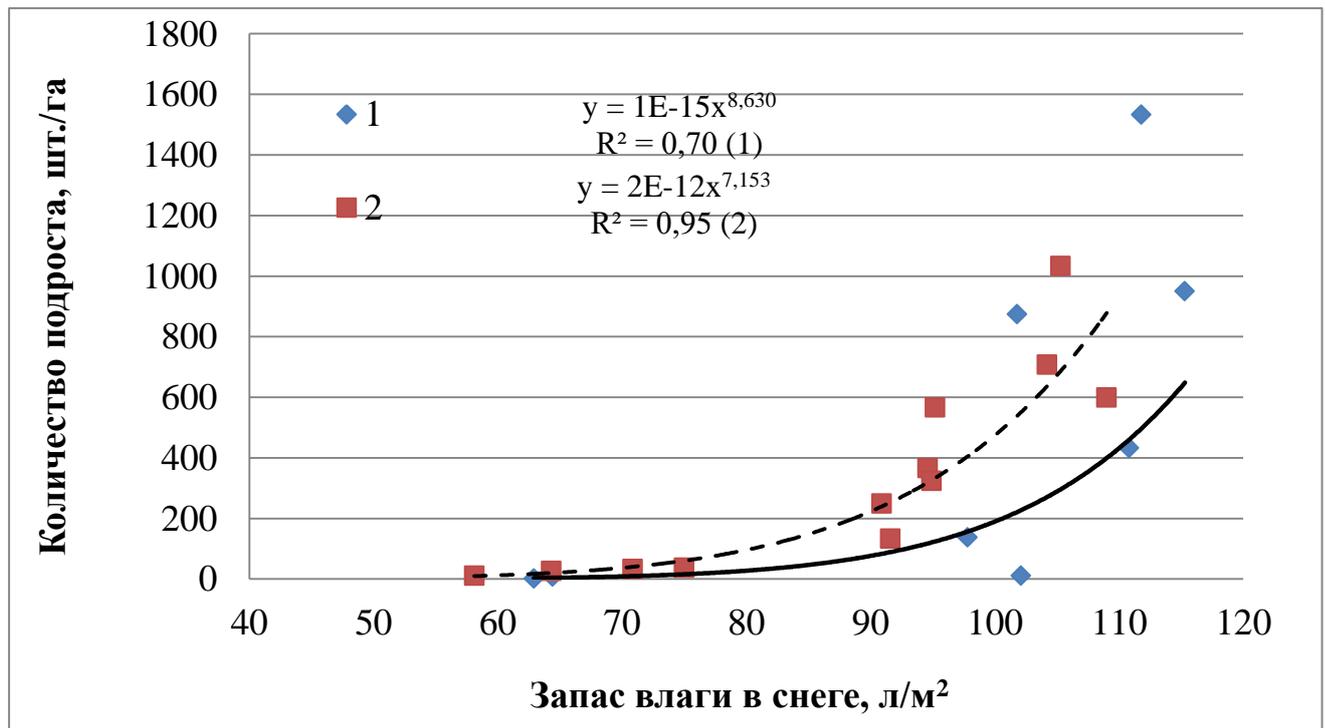


Рисунок 30 – Зависимость между количеством подроста и запасом влаги в снеге в 2019 г. на исследуемых профилях на Южном Краке (1) и Северном Краке (2)

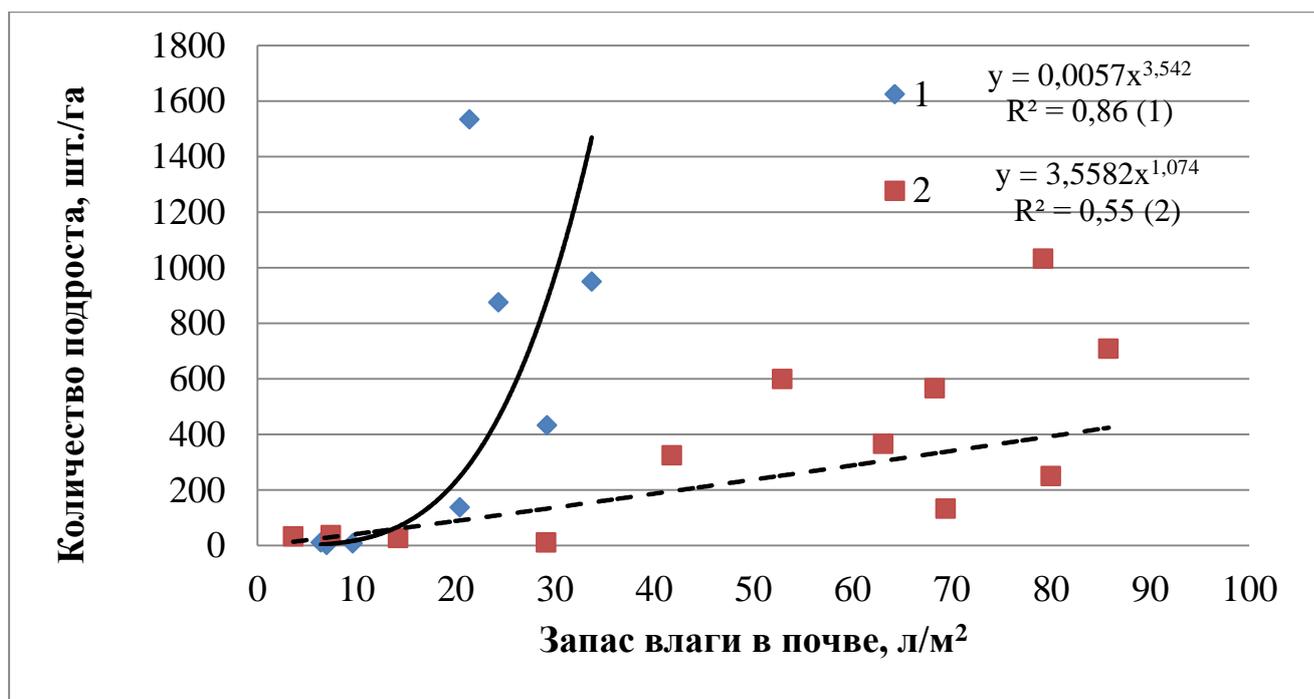


Рисунок 31 – Зависимость между количеством подроста и запасом влаги в почве в 2018 г. на обследованных площадках в экотоне лес-горная степь на Южном Крае (1) и Северном Крае (2)

Если между запасом влаги в снеге и количеством деревьев корреляция выше на Северном Крае, то между запасом влаги в почве – связь выше на Южном Крае.

Таким образом, анализ связи количества деревьев на исследуемых профилях с различными климатическими факторами показал, что влияние температуры практически не проявляется. Количество тепла для роста деревьев в исследуемом районе достаточен. Наоборот, дальнейшее повышение экстремально высоких температур в летний период, увеличение их продолжительности может оказать отрицательное влияние на древесные растения как в популяционном (возобновление и расселение) так и на индивидуальном уровне (рост, продуктивность и формирование фитомассы).

Связь с осадками летних месяцев не проявляется либо она слабая, что может быть связано с незначительным ростом (как было показано выше) осадков в летний период, и даже незначительным снижением в июне, когда при высокой температуре и интенсивном росте требуется большое количество влаги.

Повышение зимних осадков оказывает положительное влияние с одной стороны уменьшением глубины промерзания, что приводит к более раннему оттаиванию почв, меньшим затратам талых вод на поверхностный сток и накоплением влаги в почве, с другой, увеличением запаса влаги в талых водах.

Количество влаги в почве, которое складывается от поступающей с осадками и в результате таяния снега влаги, расхода на испарение, поверхностный сток, а также влагоудерживающей способности грунтов, оказывает положительное влияние на количество появившегося подраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На остепненных склонах массива Крака в экотоне лес–горная степь в последние десятилетия, при отсутствии пожаров, происходит интенсивная экспансия древесных растений на безлесные пространства, которая активизировалась после 1970 г.

Повсеместное зарастание безлесных участков древесной растительностью и сокращение площади горных степей в исследуемом районе происходит на фоне изменения климата. С 30-х годов по сегодняшний день согласно данным близлежащих району исследования метеорологических станций климат в районе исследований стал более теплым и осадков выпадает больше. Наиболее существенное повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков произошло в зимний период.

Степень зарастания горных степей зависит от их площади, чем меньше изначальная площадь безлесного участка, тем интенсивнее на сегодняшний день происходит его облесение и уменьшение размера.

Выявленные нами два периода наиболее активного возобновления на исследуемых профилях определяются количеством осадков. В период между 1930 и 1950 гг. для древостоев, произрастающих в нижних частях экотона лес–горная степь связано с количеством осадков в мае–августе. Для других периодов и других частей экотона связи с количеством осадков в вегетационный сезон отсутствовали или были не значимыми. Всплеск возобновления в период с 1975 по 2005 гг. на всех высотных уровнях в переходной зоне от сомкнутого леса до горных степей связано с количеством осадков предшествующего холодного периода.

Количество появившегося подроста деревьев на различных участках склона определяется локальными условиями местопроизрастания, а именно крутизной и экспозиций склона, мощностью и каменистостью грунтов, положением в мезорельефе, где процесс эрозии почв и распределение снега создает условия накопления или переноса с повышенных участков в пониженные части рельефа. Это в свою очередь, обеспечивает большую влагообеспеченность условий для

роста и выживание подростка в самый уязвимый ранний период.

В структуре сформировавшихся к настоящему времени насаждениях на разных высотных уровнях экотона, присутствуют деревья различной величины и возраста. С повышением высоты над уровнем моря закономерно уменьшаются густота и сумма проекций крон. Возраст, диаметр и высота древостоев с увеличением количества молодых деревьев в их составе на среднем и нижнем уровне уменьшаются. Распределение деревьев по таксационным показателям в древостоях, высокая гетерогенность насаждений, произрастающих на любом высотном уровне экотона, свидетельствуют об их высокой устойчивости. На среднем уровне, между границей сомкнутых насаждений и единичных деревьев, под пологом разреженного материнского древостоя создаются наиболее благоприятные условия для появления и последующего онтогенеза подростка.

Увеличение площади лесов вследствие зарастания горных степей древесной растительностью на фоне повышения температуры и количества осадков холодного периода привело к значительному повышению запаса фитомассы, которая в целом по массиву Крака составляет 92,3 тыс. тонн за последние 30 лет. Обнаруженные зависимости наземной фитомассы древостоев и их фракций от диаметра у основания и высоты ствола в горах закономерно меняется от положения на склоне, возраста и от биологических особенностей каждого вида деревьев.

К настоящему времени опубликовано много работ проведенных в различных горных уголках земли в близких к нашим условиям, в которых вопросы влияния внешних факторов на продуктивность, интенсивность возобновления и расселения на безлесные пространства, смену породного состава, изменения фенологических фаз, гибель древостоев, изменчивость ширины годичных колец освещены весьма подробно. В них рассмотрен широкий спектр внешних факторов, таких как температурный и гидрологический режимы, ветровая нагрузка, пожары, вспышки массового размножения насекомых, а так же индустриальные выбросы, лесохозяйственные мероприятия и др. Так же показано степень проявления локальных условий того или иного фактора, такие как

экспозиция склона, крутизна, высота над уровнем моря, эдафические условия, глубина снега, живой напочвенный покров и др. Так или иначе, нельзя разделять влияние только температуры и условия увлажнения среды или других условий на динамику и структуру древесных растений. Необходим поиск комплексных показателей влияния климата на лес.

Для выявления всего комплекса требуются дополнительные исследования. Расширение факторов влияющих на насаждения в массиве гор Крака, такие как экспозиция склона, влияние пирогенного фактора и характеристика мезорельефа склона и др.

В целом, наблюдения за динамикой границ лесной растительности необходимы для совершенствования системы оценки состояния лесов и адаптации лесной растительности их к изменениям среды, а также для оценки продуктивности, породного состава и биоразнообразия лесных экосистем и экологической роли лесных насаждений в горах на стыке лесной и степной растительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумова, О.Ф. Усыхание березняков российской части бассейна реки Онон в конце XX – начале XXI века / О.Ф. Абакумова, О.Ф. Малых, И.Л. Вахнина // География и природные ресурсы. – 2017. – № 1. – С. 163-170.

Абдрахманов, Р.Ф. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала / Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов. Отв. ред. чл.-корр. РАН В.Н. Пучков. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. – 420 с.

Агафонов, Л.И. Изменения климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала / Л.И. Агафонов, В.В. Кукарских // Экология. – 2008. – № 3. – С. 173-180.

Агроклиматические ресурсы Башкирской АССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 235 с.

Акатов, П.В. Тенденции изменения верхней границы распространения древесных видов растений на Западном Кавказе: Автореф. дис. канд. биол. наук. 03.02.08. – Ростов-на-Дону, 2010. – 24 с.

Андреев, С.Г. Региональные закономерности изменчивости прироста сосны в степной зоне Бурятии / С.Г. Андреев, А.К. Тулохонов, М.М. Наурзбаев // География и природные ресурсы. – 2001. – № 1. – С. 73-78.

Андрейшкина, Н.И. Изменение основных характеристик фитоценозов с участием *Larix sibirica* Ledeb. в экотоне верхней границы древесной растительности на Полярном Урале / Н.И. Андрейшкина // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2014. – № 3 (27). – С. 53-67.

Аненхонов, О.А. Изменение ценофлоры темнохвойных лесов Северного Прибайкалья при современном потеплении климата / О.А. Аненхонов // География и природные ресурсы. – 2009. – № 4. – С. 62-66.

Аненхонов, О.А. Изучение климатогенной динамики растительного покрова: предпосылки, подходы, перспективы / О.А. Аненхонов // Изв. Иркутского гос. ун-та. Серия «Биология. Экология». – 2012. – Т. 5, № 3. – С. 3-7.

Аненхонов, О.А. Мониторинг гидротермических условий в экспозиционной лесостепи Западного Забайкалья / О.А. Аненхонов, Х. Лю, Г. Ху, Н.К. Бадмаева // Вестник Бурятского НЦ Сиб. отд. РАН. – 2014. – № 3 (15). – С. 255-263.

Атлас Республики Башкортостан. – Уфа, 2005. – 419 с.

Баландин, С.В. Динамика степной растительности Уктусских гор (Средний Урал) / С.В. Баландин // Ботан. журн. – 2001. – Т. 86, №5. – С. 103-110.

Балков, В.А. Водные ресурсы Башкирии / В. А. Балков. – Уфа: Башкирское кн. изд-во, 1978. – 173 с.

Батчаева, О.М. Зависимость распространения растений от глубины почв в альпийских фитоценозах Тебердинского заповедника / О.М. Батчаева, А.А. Захаров, В.Г. Онипченко // Бюл. МИОП. Отд. биол. – 2003. – Т. 108, №4. – С. 53-57.

Борзенкова, И.И. О природных индикаторах современного глобального потепления / И.И. Борзенкова // Метеорология и гидрология. – 1999. – №6. – С. 98-107.

Бочаров, А.Ю. Структура лесов и климатический отклик деревьев в зоне контакта «лес-степь» (Горный Алтай) / А.Ю. Бочаров, Д.А. Савчук // Journal of Siberian Federal University. Biology. – 2015. – №8. – С. 426-440.

Бубнов, М.О. Особенности формирования надземной фитомассы деревьев у различных жизненных форм ели сибирской на массиве Ирмель (Южный Урал) / М.О. Бубнов, Н.М. Дэви, З.Я. Нагимов // Вестник Башкирского аграрного университета. – 2015. – №4. – С. 91-95.

Будыко, М.И. Современное изменение климата // Проблемы современной гидрологии / М.И. Будыко, К.Я. Винников, Г.В. Менжулин. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 108-124.

Будыко, М.И. Эмпирические оценки изменения климата к концу XX столетия / М.И. Будыко, Н.А. Ефимова, Л.А. Строкина // Метеорология и гидрология. – 1999. – №12. – С. 5-12.

Ваганов, Е.А. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа. – Новосибирск: Наука, 1996. – 246 с.

Ваганов, Е.А. Дендрохронологические методы в изучении истории климата Сибири / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. – Новосибирск, 1998. – С. 56-64.

Валендик, Э.Н. Крупные лесные пожары / Э.Н. Валендик, П.М. Матвеев, М.А. Софронов. – М: Наука, 1979. – 198 с.

Вахнина, И.Л. Древесно-кольцевой анализ сосны обыкновенной в Восточном Забайкалье с конца 19-го столетия. / И.Л. Вахнина // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. – 2011. – № 4а. – С. 108-112.

Вахнина, И.Л. Древесно-кольцевая хронология по сосне обыкновенной в региональных условиях Восточного Забайкалья. / И.Л. Вахнина // Хвойные бореальные зоны. – 2013, – Т. 31, № 1-2. – С. 54-56

Волков, А.М. Изменения климатического режима и реакция биоты на них в Башкирском заповеднике / А.М. Волков, И.И. Габдеев, В.А. Яныбаева, Т.В. Жирнова, З.Т. Багаутдинова. // Сб. науч. трудов Башкирского заповедника. Выпуск IV. – Миасс: Геотур. – 2001. – С. 4-29.

Волков, Д.А. Дистанционный мониторинг многолетней динамики границы леса и горной степи в Башкирском заповеднике: методика и результаты / Д.А. Волков // Уральский экологический вестник. – 2017. – № 1. – С. 24-28.

Высоцкий, К.К. Закономерности строения смешанных древостоев / К.К. Высоцкий. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 176 с.

Габдрахимов, К.М. Экологический потенциал лесов Южного Урала / К.М. Габдрахимов, А.Ф. Хайретдинов. – Уфа: Башк. гос. аграр. ун-т, 2000. – 203 с.

Габдрахимов, К.М. Экология восстановления сосняков Южного Урала / К.М. Габдрахимов, Р.З. Хатмуллин. – Уфа: изд-во БГАУ, 2001. – 130 с.

Гайсин, И.К. Естественное возобновление в лесах Башкирского Заповедника после пожаров / И.К. Гайсин // Природные резерваты – гарант будущего: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием, посвященный 100 летию заповедной системы России и Баргузинского природного биосферного заповедника, Году ООПТ и Году экологии (Улан-Удэ, 4-6 сентября 2017 г.). – Улан-Удэ, 2017. – С. 75-81.

Гайсин, И.К. Заращение экстразональных горных степей Южного Крака лесной растительностью / И.К. Гайсин // Экологические проблемы Южного Урала пути их решения: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. (Сибай, 24-26 мая 2017 г.) – Сибай: Сибайская городская типография – филиал ГУП РБ Издательский дом «Республика Башкортостан», 2017. – С. 41-47.

Гайсин, И.К. Экспансия леса на экстразональные горные степи массива Крака / И.К. Гайсин, И.И. Риянова, А.А. Петрова // Экология и природопользование: прикладные аспекты: материалы IX Международной науч.-практ. конф. (Уфа, 1-4 апреля 2019 г.)/ в 2-х томах. Т. I – Уфа: Аэтерна, 2019. – С. 73-82.

Гайсин, И.К. Экспансия древесной растительности в экотоне лес–горная степь на Южном Урале в связи с изменениями климата и влажности местообитаний / И.К. Гайсин, П.А. Моисеев, И.И. Махмутова, Н.Ф. Низаметдинов, О.О. Моисеева // Экология. – 2020. – №4. – С. 251-264.

Горчаковский, П.Л. Растительность горных тундр Урала / П.Л. Горчаковский // Записки Уральского отдела Географического общества СССР. Вып. №2. – Свердлов. кн. изд., 1955. – С. 39-158.

Горчаковский, П.Л. Основные проблемы исторической фитогеографии Урала / П.Л. Горчаковский // Тр. ИЭРиЖ УФАИ СССР. – Свердловск, 1969. – № 66. – С. 77-107.

Горчаковский, П.Л. Растительный мир высокогорного Урала / П.Л. Горчаковский. – М.: Наука, 1975. – 283 с.

Горчаковский, П.Л. Редкие и исчезающие растения Урала и Приуралья / П.Л. Горчаковский, Е.А. Шурова. – М.: Наука, 1982. – 208 с.

Горчаковский, П.Л. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях / П.Л. Горчаковский, С.Г. Шиятов. – М.: Наука, 1985. – 208 с.

Горчаковский, П.Л. Закономерности снегонакопления на Северном Урале и водоохранная роль высокогорных лесов / П.Л. Горчаковский. – Екатеринбург: Издательство «УрО РАН», 1998. – 96 с.

Горчаковский, П.Л. Фиторазнообразие реликтовых степных анклавов на Урале: опыт сравнительной оценки / П.Л. Горчаковский, Н.В. Золотарева // Экология. – 2006. – № 6. – С. 1-10.

Грабовский, В.И., Замолотчиков, Д.Г. Зависимость запасов древесины в лесах России от климатических параметров / В.И. Грабовский, Д.Г. Замолотчиков // Лесоведение. – 2019. – № 2. – С. 83-92.

Григорьев, А.А. Динамика верхней границы древесной растительности в высокогорьях Приполярного Урала под влиянием современного изменения климата / А.А. Григорьев, П.А. Моисеев, З.Я. Нагимов // Экология. – 2013. – №4. – С. 284-295.

Григорьев, А.А. Структура и динамика древостоев вкрхней границы леса в западной части плато Путорана / А.А. Григорьев, Н.М. Дэви, В.В. Кукарских, С.О. Вьюхин, А.А. Галимова, П.А. Моисеев, В.В. Фомин // Экология. – 2019. – № 4. – С. 243-254.

Громыко, М.Н. Пожары и пирогенная трансформация лесных экосистем Сихотэ-Алинского заповедника: Автореф. дис. канд. биол. наук. 03.00.16. – Владивосток, 2007. – 20 с.

Груза, Г.В. Об изменениях температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX веке / Г.В. Груза, М.Ю. Бардин, Э.Я. Ранькова // Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата: Пределы измерений [отв. ред. Ю.А. Израэль]. – М.: Наука, 2001. – С. 18-39.

Дэви, Н.М. Морфогенез лиственницы сибирской в связи с современным изменением климата в высокогорьях Полярного Урала: автореф. дис. канд. биол. наук. 03.00.16. – Екатеринбург, 2008. – 24 с.

Дылис, Н.В. Структура лесного биогеоценоза / Н.В. Дылис. – М.: Наука, 1977. – 55 с.

Евдокименко, М.Д. Влияние лесных пожаров на продуктивность древостоев / М.Д. Евдокименко // Продуктивность лесных фитоценозов. Ин-т леса и древесины СО АН СССР Красноярск, 1984. – С. 56-65.

Евдокименко, М.Д. Пирогенные нарушения лесорастительной среды в сосняках Забайкалья и их лесоводственные последствия / М.Д. Евдокименко // Лесоведение. – 2014. – № 1. – С. 3-12.

Ефимова, Н.А. Изменение условий увлажнения на части территории Евразии при возможном глобальном потеплении климата / Н.А. Ефимова // Метеорология и гидрология. – 1987. – №11. – С. 54-58.

Жирнова, Т.В. Синтаксономия степной растительности Башкирии. III. Горные степи Башкирского государственного заповедника Ч.1. / Т.В. Жирнова, М.С. Сайтов. – Уфа, 1993. – 46 с. (Рукопись деп. в ВИНТИ 17 июня 1993 г. № 1673 – В93).

Жирнова, Т.В. Опыт использования прямого градиентного анализа для выявления закономерностей степной растительности Башкирского государственного природного заповедника / Т.В. Жирнова, С.М. Ямалов, Б.М. Миркин // Изучение заповедной природы Южного Урала: Сб. науч. тр. – Уфа: Издательский дом ООО «Вилли Окслер», 2006. – С. 82-92.

Жирнова, Т.В. Степи Башкирского государственного природного заповедника: анализ вклада ведущих факторов и синтаксономия / Т.В. Жирнова, С.М. Ямалов, Б.М. Миркин // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 2007. – Т. 112, Вып. 5. – С. 36-45.

Замолодчиков, Д.Г. Оценка климатогенных изменений разнообразия древесных пород по данным учетов лесного фонда / Д.Г. Замолодчиков // Успехи современной биологии. – 2011. – Т. 131, №4. – С. 382-392.

Замолодчиков, Д.Г. Лес и климат / Д.Г. Замолодчиков, К.К. Кобяков, А.О. Кокорин, А.А. Алейников, Н.М. Шматков. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2015. – 40 с.

Заповедники СССР: Справочник / Н.Г. Васильев, Д.А. Горин, В.Л. Рашек и др.; Под ред. А.М. Бородина, Е.Е. Сыроечковского. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 248 с.

Золотарева, Н.В. Некоторые аспекты динамики экстразональных степей Южного Урала / Н.В. Золотарева // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: материалы всероссийской конф. (Санкт-Петербург, 20-24 сентября 2011 г.) – СПб, 2011. – Т. 2. – С. 84-87.

Золотарева, Н.В. Современное состояние горных степей Свердловской области. / Н.В. Золотарева, Е.Н. Подгаевская // Экология. – 2012. – № 5. – С. 331-339

Золотарева, Н.В. Лесостепные и степные виды на северном пределе распространения (ботанические находки на территории Среднего Урала) / Н.В. Золотарева, Е.Н. Подгаевская, М.С. Князев // Ботан. журн. – 2014. – Т. 99, №3. – С. 352-358.

Золотарева, Н.В. Находки редких видов высших растений в Свердловской области / Н.В. Золотарёва, Е.Н. Подгаевская, М.П. Золотарев // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 2015. – Т. 120, № 6. – С. 81-83.

Золотарева, Н.В. Феномен облесения степных участков на Среднем Урале и его вероятные причины / Н.В. Золотарева, М.П. Золотарев // Экология. – 2016. – № 6. – С. 414-425.

Иванов, В.М. Башкирский государственный заповедник / В.М. Иванов, Е.М. Петров. – Уфа, 1965. – 119 с.

Игошина, К.Н. Высокогорная растительность Среднего Урала / К.Н. Игошина // Журнал русского бот. общ. – 1931. – Т. 16, №1. – С. 1-62.

Изменение климата, 2007 г. Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I II III в четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Р.К. Пачаури, А.Рейзингер и основная группа авторов]. МГЭИК. – Женева, Швейцария, 2008 – 163 с.

Изменение климата, 2014 г. [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер]. МГЭИК. – Женева, Швейцария, 2015. – 163 с.

Израэль, Ю.А. Эффективный путь сохранения климата на современном уровне – основная цель решения климатической проблемы / Ю.А. Израэль // Метеорология и гидрология. – 2005. – №10. – С. 5-9.

Камалетдинов, М.А. Покровные структуры Урала / М.А. Камалетдинов. – М.: Наука, 1974. – 230 с.

Капралов, Д.С. 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.

Капралов, Д.С. Пространственно-временная динамика верхней границы леса на Южном Урале / Д.С. Капралов, С.Г. Шиятов, В.В. Фомин, Ю.В. Шалаумова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2007. – Вып. 180. – С. 59-68.

Кириков, С.В. Распределение снега в Юго-Восточной части Урала / С.В. Кириков // Труды Башкирского государственного природного заповедника. Вып. 2. – М., 1963. – С.45-60.

Кириков, С.В. Промысловые животные, природная среда и человек / С.В. Кириков. – М.: Наука, 1966. – 311 с.

Князев, М.С. Реликтовые фрагменты лесостепи в Зауралье / М.С. Князев, Н.В. Золотарёва, Е.Н. Подгаевская // Ботан. журн. – 2012. – Т. 97, № 10. – С. 28-44.

Кокорин, А.О. Изменение климата и Киотский протокол – реалии и практические возможности / А.О. Кокорин, И.Г. Грицевич, Г.В. Сафонов – М.: WWF, 2004. – 64 с.

Кокорин, А.О. Изменение климата / А.О. Кокорин, Е.В. Смирнова, Д.Г. Замолотчиков – М.; WWF, 2013. – 220 с.

Коломыц, Э.Г. Региональная модель глобальных изменений природной среды / Э.Г. Коломыц. – М.: Наука, 2003. – 371 с.

Коломыц, Э.Г. Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем / Э.Г. Коломыц. – М.: Наука, 2008. – 428 с.

Колчин, Б.А. Дендрохронология восточной Европы / Б.А. Колчин – М.: Наука, 1977. – 127 с.

Крашенинников, И.М. Ботанико-географические районы Башкирского Урала / И.М. Крашенинников, С.Е. Кучеровская-Рожанец // Природные ресурсы Башкирской АССР. Т.1. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1941. – С.95-112.

Кукарских, В.В. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесостепной зонах Южного Урала: Автореф. дис... канд. биол. наук. 03.00.16. – Екатеринбург, 2009. – 22 с.

Куминова, А.В. Растительный покров Алтая / А.В. Куминова. – Новосибирск: Изд-во АН СССР, 1960. – 450 с.

Куминова, А.В. Растительный покров Хакасии / А.В. Куминова, Г.А. Зверева, Ю.М. Маскаев, Г.Г. Павлова, В.П. Седельников и др. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1976. – 424 с.

Куминова, А.В. Растительный покров и естественные кормовые угодья Тувинской АССР. / А.В. Куминова, В.П. Седельников, Ю.М. Маскаев и др. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1985. – 256 с.

Курнаев, С.Ф. Лесорастительное районирование СССР / С.Ф. Курнаев. – М.: Наука, 1973. – 203 с.

Кучеров, С.Е. Реконструкция летних осадков на Южном Урале за последние 375 лет на основе анализа радиального прироста лиственницы Сукачева / С.Е. Кучеров // Экология. – 2010. – № 4. – С. 248-256.

Кучеров, С.Е. Связь радиального прироста сосны обыкновенной с климатическими факторами в сосновых борах Предуралья / С.Е. Кучеров, А.А. Мулдашев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2011. – №3. – С. 289-293.

Кучеров, С.Е. Усыхание дуба на юго-восточной границе ареала в связи с воздействием повреждающих факторов / С.Е. Кучеров, С.В. Кучерова // Изв. Самарского науч. центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 3 (4). – С. 1341-1343.

Лавренко, Е.М. Крымско-Кавказско-Западноиранские горные степи / Е.М. Лавренко // Растительность европейской части СССР. – Л.: Наука, 1980. – С. 265-266.

Лавренко, Е.М. Степи Евразии / Е.М. Лавренко, З.В. Карамышева, Р.И. Никулина. – Л.: Наука, 1991. – 146 с.

Ливеровский, Ю.А. Почвы СССР. Географическая характеристика / Ю.А. Ливеровский. – М.: Мысль, 1974. – 462 с.

Лямцев, Н.И. Динамика санитарного состояния еловых лесов Подмосквья после засухи 2010 года / Н.И. Лямцев, Е.Г. Малахова // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2013. – № 6. – С. 82-88.

Макунина, Н.И. Лесостепной комплекс Алтае-Саянской горной области / Н.И. Макунина Т.В. Мальцева // Сиб. экол. журн. – 2002. – № 5. – С. 611-616.

Макунина, Н.И. Горная лесостепь Юго-Восточного Алтая и Юго-Западной Тувы / Н.И. Макунина // Растительность России. – 2014. – № 24. – С. 86-100.

Малышева, Г.С. Степи Приволжской возвышенности / Г.С. Малышева, П.Д. Малаховский // Бот. журн. – 2012. – Т. 97, № 1. – С. 58-73.

Манов, А.В. Климатический сигнал в древесно-кольцевых хронологиях лиственницы на западном макросклоне Приполярного Урала / А.В. Манов, С.В. Загирова // Известия Российской академии наук. – 2015. – № 4. – С. 70-79.

Мартыненко, В.Б. Леса Башкирского государственного заповедника: синтаксономия и природоохранная значимость. / В.Б. Мартыненко, А.И. Соломещ, Т.В. Жирнова. – Уфа: Гилем, 2003. – 184 с.

Мелехов, И.С. Влияние пожаров на лес / И.С. Мелехов. – М., Л.: 1948. – 126 с.

Мазепа, В.С. Образование многоствольных жизненных форм деревьев лиственницы сибирской в экотоне верхней границы леса на Полярном Урале как индикатор изменения климата / В.С. Мазепа, Н.М. Дэви. // Экология. – 2007. – № 6. – С. 471-475.

Матвеев, С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи / С.М. Матвеев. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. – 272 с.

Миркин, Б.М. Степи / Б.М. Миркин, С.М. Ямалов // Башкирская энциклопедия. Т. 6. – Уфа, 2010. – С. 97.

Мозговая, О.А. Светлохвойные леса Башкирского заповедника, их фитоценотическая характеристика и особенности возобновления сосны и лиственницы: Автореф. дис. канд. биол. наук. 03.00.05. – М., 1974. – 24 с.

Моисеев, П.А. Влияние изменений климата на радиальный прирост и формирование возрастной структуры высокогорных лиственничников Кузнецкого Алатау / П.А. Моисеев // Экология. – 2002. – №1. – С.10-17.

Моисеев, П.А. Влияние изменений климата на формирование поколений ели сибирской в подгольцовых древостоях Южного Урала / П.А. Моисеев, Ван дер Меер, А. Риглинг, И.Г. Шевченко // Экология. – 2004. – № 3. – С. 1-9.

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

Моисеев, П.А. Динамика верхней границы леса на склонах Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива (Северный Урал) в последние столетия / П.А. Моисеев, А.А. Бартыш, А.В. Горяева, Н.Б. Кошкина, З.Я. Нагимов, В.А. Галако // Хвойные бореальные зоны. – 2008. – Том XXV, № 1 - 2, – С. 21-27.

Моисеев, П.А. Изменение структуры и фитомассы древостоев на верхнем пределе их произрастания на Южном Урале / П.А. Моисеев, М.О. Бубнов, Н.М. Дэви, З.Я. Нагимов // Экология. – 2016. – № 3. – С. 163-172.

Моисеев, П.А. Динамика древесной растительности на участках остепненных склонов Южного Крака в последние 80 лет / П.А. Моисеев, И.К. Гайсин, М.О. Бубнов, О.О. Моисеева // Экология. – 2018. – № 2. – С. 157-162.

Моисеев, П.А. Динамика древостоев и их продуктивности на верхнем пределе произрастания в Хибинах на фоне современных изменений климата / П.А. Моисеев, А.А. Галимова, М.О. Бубнов, Н.М. Дэви, В.В. Фомин // Экология. – 2019. – № 5. – С. 341–355.

Молчанов, А.А. Промерзание и оттаивание почвы / А.А. Молчанов // Лесное хоз-во. – 1950. – № 1. – С. 27-31.

Мукатанов, А.Х. Горно-лесные почвы Башкирской АССР / А.Х. Мукатанов. – М.: Наука, 1982. – 147 с.

Нагимов, З.Я. Особенности роста и формирования фитомассы древостоев ели в высокогорьях Южного Урала (на примере г. Малый Ирмель) / З.Я. Нагимов, Т.С. Бабенко, И.Г. Шевченко, И.В. Рахманов, П.А. Моисеев // Хвойные бореальной зоны. - 2007. - XXIV, № 4 – 5. – С. 427-430.

Нагимов, З.Я. Структура и фитомасса березовых древостоев на верхней границе леса в условиях Северного Урала / З.Я. Нагимов, П.А. Моисеев, А.А. Бартыш, И.В. Рахманов, А.А. Григорьев // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2008. – № 3. – С. 61-67.

Нагимов З.Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев // Автореф. дис. д-ра с.-х. наук: 06.03.03. – Екатеринбург. – 2000. – 40 с.

Намзалов, Б.Б. Горная лесостепь Баргузинской котловины (Северное Прибайкалье) / Б.Б. Намзалов, Т.Г. Басхаева. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2006. – 125 с.

Нестеров, Н.С. Очерки по лесоведению / Н.С. Нестеров – М.: Госиздат с.-х. литературы, 1960. – 487 с.

Нешатаев, Ю.Н. Геоботаническая характеристика Башкирского государственного заповедника // Заключительный отчет по теме хоздоговора № 739. – Ленинград, 1983. – 87 с. (Рукоп. в Башкирск. Заповеднике, Инв. № 177.).

Огуреева, Г.Н. Ботаническая география Алтая: Монография / Г.Н. Огуреева. – М.: Наука, 1980. – 190 с.

Огуреева, Г.Н. Структура высотной поясности гор Южной Сибири / Г.Н. Огуреева // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1983. – Т. 88, Вып. 1. – С. 66-77.

Оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории РФ. М.: Росгидромет. 2008. Т. 1, Изменения климата. – 227 с. Т. 2,

Последствия изменений климата. – 288 с. [Электронный ресурс]:
<http://climate2008.igce.ru/v2008/htm/index00.htm>

Петров, И.А. Реакция хвойных экотона альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау на изменение климата / И.А. Петров, В.И. Харук, М.Л. Двинская, С.Т. Им. // Сиб. экол. журн. – 2015. – № 4. – С. 518-527.

Побединский, А.В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья / А.В. Побединский. – М.: Наука, 1965. – 268 с.

Подгаевская, Е.Н. Особенности произрастания и состояние популяций *Stipa repens* L. на северной границе распространения (Свердловская область) / Е.Н. Подгаевская, Н.В. Золотарева // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2015. – № 3 (31). – С. 40-53.

Поздняков, Л.К. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии / Л.К. Поздняков, В.В. Протопопов, В. М. Горбатенко. – Красноярск, 1969. – 156 с.

Почвы Башкортостана Т. 1. / Ф.Х. Хазиев, А.Х. Мукатанов, И.К. Хабиров и др. – Уфа, Гилем, 1995. – 384 с.

Почвы Башкортостана. Т. 2 / Ф.Х. Хазиев, Г.А. Кольцова, Р.Я. Рамазанов и др. – Уфа, Гилем, 1997. – 328 с.

Растительный покров СССР. Пояснительный текст к Геоботанической карте СССР М 1: 4000000 Часть 2 / Е.М. Лавренко, В.Б. Сочава. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 529 с.

Румянцев, Д.Е. Предыстория дендрохронологии / Д.Е. Румянцев // Лесной вестник. – 2009. – №1. – С. 50-55.

Санников, С.Н. Биоэкологические этапы индивидуального роста и развития семян самосева сосны / С.Н. Санников // Тр. Ин-та биологии УФАНА СССР. Вып. 35. – Свердловск: 1963. – С. 47-64.

Санников, С.Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной / С.Н. Санников. – М.: Наука, 1992. – 264 с.

Санников, С.Н. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса / С.Н. Санников, Н.С. Санникова. – М.: Наука, 1985. – 149 с.

Семечкина, М.Г. Структура фитомассы сосняков / М.Г. Семечкина – Новосибирск: Наука, 1978. – 165 с.

Сергиенко, В.Г. Динамика границ лесорастительных зон России в условиях изменения климата / В.Г. Сергиенко // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2015. – № 1. – С. 5-19.

Сингатуллин, И.К. Состояние сосновых древостоев Республики Татарстан после засухи 2010 года / И.К. Сингатуллин // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (27). – С. 95-101.

Сизых, А.П. Пространственно-временная изменчивость верхней границы леса средней части хребта Хамар-Дабан / А.П. Сизых, В.И. Воронин, В.А. Осколков // Лесное хозяйство. – 2011. – № 6. – С. 19-20.

Сизых, А.П. Структурно-динамическая организация растительных сообществ, формирующихся в зоне контакта леса и аazonальных (экстразональных) степей, а также внутри зональных лесостепей в бассейне оз. Байкал / А.П. Сизых, В.И. Воронин // Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер. “Биология. Экология”. – 2011. – Т. 4, № 3. – С. 36-40.

Сизых, А.П. Почвенно-геоботаническое профилирование в изучении сообществ контакта “лес–экстразональная степь” и зональной лесостепи (Байкальский регион) / А.П. Сизых, В.И. Воронин // Экология. – 2013. – № 2. – С. 83-89.

Сизых, А.П. Картографическое изучение растительных сообществ контакта сред / А.П. Сизых // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1-4. – С. 621-634.

Скрыльник, Г.П. Влияние лесных пожаров на развитие геосистем плакоров юга Средней Сибири и гор Дальнего Востока / Г.П. Скрыльник // Науки о земле. – 2018. – № 5. – С.131-141.

Соколова, Г.Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенности пространственного распределения растений / Г.Г. Соколова // Acta Biologica Sibirica. – 2016. – № 2 (3). – С. 34-45.

Соловьев, В.М. Естественно научные основы изучения и формирования древостоев лесных экосистем / В.М. Соловьев. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. – 352 с.

Сочава, Б.В. Введение в учение о геосистемах / Б.В. Сочава. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1978. – 319 с.

Справка о состоянии природных компонентов Башкирского заповедника в 2015/2016 фенологическом году. (Летопись природы, книга 66). - Сибай, Сибайская городская типография. Сибайский информационный центр – филиал ГУП РБ ИД РБ, 2017. – 149 с.

Станюкович, К.В. Растительность гор СССР: (Ботанико-географический очерк) / Отв. ред. акад. А.Н. Максумов; АН Тадж ССР. Совет по изучению производительных сил. – Душанбе: Дониш, 1973. – 411 с.

Сукачев, В.Н. К вопросу об изменении климата и растительности на севере Сибири в послетретичное время / В.Н. Сукачев // Метеорол. вестн. – 1922. – Т. 22, № 1/4. – С. 25-43.

Тайчинов, С.Н. Некоторые особенности почв района Крака и Урал-Тау Башкирского Южного Урала / С.Н. Тайчинов // Тр. Башкир. с.-х. ин-та. – 1956. – Т.7. – С. 16-26.

Ткаченко, М.Е. Общее лесоводство / М.Е Ткаченко. – М., Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 597 с.

Урал и Приуралье / [Отв. ред. И.В. Комар и А.Г. Чикишев]. – М.: Наука, 1968. – 461 с.

Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев / В.А. Усольцев. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1985. – 192 с.

Усольцев, В.А. Методы таксации фитомассы древостоев / В.А. Усольцев, З.Я. Нагимов // Метод. указ. для студентов-дипломников специальности 1512. – Свердловск: УЛТИ, 1988. – 46 с.

Усольцев, В.А. Депонирование углерода некоторых экотонов и на лесопокрытых площадях УФО: Монография / В.А. Усольцев, С.В. Залесов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. – 223 с.

Усольцев, В.А. География фитомассы, чистой первичной и удельной чистой первичной продукции лиственничников в пределах Евразии / В.А. Усольцев, Д.С. Гаврилин, В.П. Часовских, А.В. Борников, Ю.В. Норицина // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 3. – С. 76–90.

Усольцев, В.А. Моделирование аддитивной структуры биомассы древостоев *Pinus L.* в климатических градиентах Евразии / В.А. Усольцев, И.С. Цепордей, А.А. Осмирко, В.Ф. Ковязин, В.П. Часовских, В.А. Азаренок, М.В. Азаренок, Н.И. Кузьмин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2018. – Вып. 225. – С.28-46.

Усольцев, В.А. Фитомасса деревьев двухвойных сосен Евразии: аддитивные модели в климатических градиентах / В.А. Усольцев, И.С. Цепордей, В.П. Часовских // Сибирский лесной журнал. – 2019. – № 1. –С. 44-56

Федоров, Н.И. Сосново-березовые леса центральной части Южного Урала и производные от них сообщества формирующиеся после низовых пожаров / Н.И. Федоров, С.Н. Жигунова, О.И. Михайленко, М.И. Набиуллин // Известия Уфимского научного центр РАН. – 2013. – №2. – С. 67-72.

Физико-географическое районирование Башкирской АССР / [Под ред. И.П. Кадильникова и др.] – Уфа: БГУ, 1964. – 210 с.

Филонов, К.П. Очерк сезонного развития природы Башкирского заповедника / К.П. Филонов // Труды Башкирского государственного природного заповедника. Вып. 2. – М., 1963. – С.13-43.

Фомин, В.В. Разработка и использование количественных методов и моделей для оценки климатогенной и антропогенной динамики древесной растительности в экстремальных условиях ее произрастания / В.В. Фомин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. – 200 с.

Фуряев, В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования / В.В. Фуряев. – Новосибирск: Наука, 1996. – 252 с.

Хантемиров, Р.М. Основные этапы развития древесной растительности на Ямале в голоцене / Р.М. Хантемиров, С.Г. Шиятов // Экология. – 1999. – №3. – С. 163-169.

Харук, В.И. Лиственничники лесотундры и климатические тренды / В.И. Харук, К. Дж. Рэнсон, С.Т. Им, М.М. Наурзбаев // Экология. – 2006. – №5. – С. 323-331.

Харук, В.И. Древесная растительность экотона лесотундры Западного Саяна и климатические тренды / В.И. Харук, К.Дж. Ренсон, С.Т. Им, М.М. Наурзбаев // Экология. – 2008. – № 1. – С. 10-15.

Хасанова, Г.Ф. Некоторые особенности самовосстановления горно-лесных ландшафтов Южного Урала после пожаров / Г.Ф. Хасанова // Вестник Башкирского университета. – 2014. – Т. 19, № 1. – С. 90-91.

Хорошев, А.В. Равновесные и неравновесные отношения почв и растительного покрова как индикатор динамики низкогорно-лесных ландшафтов Южного Урала / А.В. Хорошев, Г.М. Леонова, Д.Е. Шарова // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2018. – Т. 3, № 3. – С. 81-88.

Чибилёв, А.А. Лик степи: Эколого-географические очерки о степной зоне СССР / А.А. Чибилёв. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 192 с.

Швиденко, А.З. Климатические изменения и лесные пожары в России / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко // Лесоведение. – 2013. – № 5. – С. 50-61.

Шиятов, С.Г. Снежный покров на верхней границе леса и его влияние на древесную растительность / С.Г. Шиятов // Тр. Ин-т экологии растений и животных УФ АН СССР. – 1969. – Вып. 69. – С. 141-157.

Шиятов, С.Г. Дендрохронология, ее принципы и методы / С.Г. Шиятов // Зап. Свердловского отделения ВБО. – Свердловск, 1973а. – С. 53-81.

Шиятов, С.Г. Опыт использования старых фотоснимков для изучения смен лесной растительности на верхнем пределе ее произрастания / С.Г. Шиятов // Флористические и геоботанические исследования на Урале. – Свердловск, 1983. – С. 76-109.

Шиятов, С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале / С.Г. Шиятов. – М.: Наука, 1986. – 136 с.

Шиятов, С.Г. Влияние климатических факторов на радиальный прирост деревьев в высокогорьях Урала / С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа, Г. Фриттс //

Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 1992. – Том 14. – С. 125-134.

Шиятов, С.Г. Изменения климата и динамика лесотундровых экосистем на Полярном Урале в XX столетии / С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа, О.Ю. Чехлов // Науч. вестн. (Салехард). – 2002. – Вып. 11. – С. 28-35.

Шиятов, С.Г. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале / С.Г. Шиятов, М.М. Терентьев, В.В. Фомин // Экология. – 2005. – № 2. – С. 1-8.

Шиятов, С.Г. Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на Полярном Урале / С.Г. Шиятов, М.М. Терентьев, В.В. Фомин, Н.Е. Циммерманн // Экология. – 2007. – № 4. – С. 243-248.

Шиятов, С.Г. Климатогенное динамика лесотундровой растительности на Полярном Урале / С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа. // Лесоведение. – 2007. – № 6. – С. 11-22.

Шиятов, С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата / С.Г. Шиятов. – Екатеринбург, 2009. – 219 с.

Экологическая экспертиза лесов Бурзянского района // Отв. исп. Позднякова Э.П. – Уфа: Башкирский региональный центр Международного института леса, 1994. – 205 с.

Экологический мониторинг в Башкирском заповеднике. Летопись природы. Книга 61. / Отв. ред. Гордиюк Н.М. – Уфа: Издательский центр «Орел», 2012. – 192 с.

Экологический мониторинг в Башкирском государственном заповеднике на основе дефференцированной программы «Летописи природы» Книга 67. / Отв. ред. Яныбаева В.А. – Сибай: Сибайская городская типография. Сибайский информационный центр – филиал ГУП РБ ИД РБ, 2018. – 131 с.

Ямалов, С.М. Синтаксономия и динамика травяной растительности Южно-Уральского региона: Автореф. дис. д-ра биол. наук. 03.02.01. – Уфа, 2011. – 32 с.

Ямалов, С.М. Синтаксономия степной растительности Южного Урала / С.М. Ямалов, А.В. Баянов // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2012. – Т. 14, № 1. – С.1420-1424.

Aitken, S.N. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations / S.N. Aitken, S. Yeaman, J.A. Holliday, T. Wang, S. Curtis-McLane // *Evol. Appl.* – 2008. – Vol. 1, № 1. – P. 95-111.

Allen, C.D. Drought-induced shift of a forest-woodland ecotone: rapid landscape response to climate variation / C.D. Allen, D.D. Breshears // *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* – 1998. – N 95. – P. 14839-14842.

Allen, C.D. Interactions across spatial scales among forest dieback, fire, and erosion in northern New Mexico landscapes / C.D. Allen // *Ecosystems.* – 2007. – N 10 (5). – P. 797-808.

Allen, C.D. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests / C.D. Allen, A.K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, et al. // *Forest Ecology and Management.* – 2009. – Vol. 259, N 4. – P. 660-684.

Amos-Binks, L.J. Temporal changes in species composition of mixed wood stands in northwest New Brunswick: 1946–2008 / L.J. Amos-Binks, D.A. MacLean, J.S. Wilson, R.G. Wagner // *Canadian Journal of Forest Research.* – 2010. – Vol. 40, N 1. – P. 1-12.

Anenkhonov, O.A. Soil-moisture conditions indicated by field-layer plants help identify vulnerable forests in the forest-steppe of semi-arid Southern Siberia / O.A. Anenkhonov, A.Y. Korolyuk, D. Sandanov, H. Liu, A.A. Zverev, et al. // *Ecological Indicators.* – 2015. – N 57. – P. 196-207.

Barber, V.A. Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress / V.A. Barber, G.P. Juday, B.P. Finney // *Nature.* – 2000. – N 405(6787). – P. 668-673.

Baker, B.B. Advancing treeline and retreating glaciers: implications for conservation in Yunnan, P. R. China. / B.B. Baker, R.K. Moseley // *Arctic, Antarctic and Alpine Research.* – 2007. – Vol. 39, N 2. – P. 200-209.

Bradley, R.S. Precipitation Fluctuations over Northern Hemisphere Land Areas Since the Mid-19th Century / R.S. Bradley, H.F. Diaz, J.K. Eischeid, P.D. Jones, P.M. Kelly, C.M. Goodess // *Science*. – 1987. – Vol. 237. – P. 171-175.

Breda, N. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences / N. Breda, R. Huc, A. Granier, E. Dreyer // *Ann. For. Sci.* – 2006. – N 63. – P. 625-644.

Barger, N.N. Woody plant proliferation in North American drylands: A synthesis of impacts on ecosystem carbon balance / N.N. Barger, S.R. Archer, J.L. Campbell, C. Huang, J.A. Morton, A.K. Knapp // *Geophys. Res.* – 2011. – Vol. 116. – G00K07.

Briffa, K.R. Unusual twentieth-century summer warmth in a 1000-year temperature record from Siberia / K.R. Briffa, P.D. Jones, S.G. Shiyatov, F.H. Schweingruber, E.R. Cook // *Nature*. – 1995. – V. 376. – P. 156-159.

Budyko, M.I. Empirical estimates of climate change by the late 20th century / M.I. Budyko, N.A. Efimova, L.A. Strokina // *Russian Meteorology and Hydrology* – 1999. – N 12. – P. 1-7.

Bunn, A.G. Topographic mediation of growth in high elevation foxtail pine (*Pinus balfouriana* Grev. et Balf.) forests in the Sierra Nevada, USA / A.G. Bunn, L.A. Waggoner, L.J. Graumlich // *Global Ecology and Biogeography*. – 2005. – N 14. – P. 103-114.

Chen, W. Post-fire forest regeneration under different restoration treatments in the Greater Hinggan Mountain area of China / W. Chena, K. Moriya, T. Sakai, L. Koyama, C. Cao // *Ecological Engineering*. – 2014. – Vol. 70 – P. 304-311.

Cocke, A.E. Forest change on a steep mountain gradient after extended fire exclusion: San Francisco Peaks, Arizona, USA / A.E. Cocke, P.Z. Fulé, J.E. Crouse // *Journal of Applied Ecology* – 2005. – Vol. 42. – P. 814-823.

Corlett, R.T. Post-Fire Succession on Mt. Wilhelm, Papua New Guinea. / R.T. Corlett // *Biotropica*. – 1987. – Vol. 19, N 2. – P. 157-160.

De Grandpre, L. Seasonal shift in the climate responses of *Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris*, and *Larix sibirica* trees from semi-arid, north-central Mongolia / L. De

Grandpre, J.C. Tardif, A.E. Hessl, N. Pederson et al. // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2011. – V. 41, N 6. – P.1242-1255.

Dobbertin, M. Pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) contributes to Scots pine (*Pinus sylvestris*) mortality in the Rhone valley of Switzerland / M. Dobbertin, A. Rigling // *For. Pathol.* – 2006. – N 36. – P. 309-322.

Dulamsuren, C. Recent drought stress leads to growth reductions in *Larix sibirica* in the western Khentey, Mongolia / C. Dulamsuren, M. Hauck, C. Leuschner // *Global Change Biology*. – 2010. – N 16. – P. 3024-3035.

Dulamsuren, C. Seedling emergence and establishment of *Pinus sylvestris* in the Mongolian forest-steppe ecotone. / C. Dulamsuren, M. Hauck, C. Leuschner // *Plant Ecology*. – 2012. – N 214 (1). – P. 139-152.

Dulamsuren, C. Increased summer temperatures reduce the growth and regeneration of *Larix sibirica* in Southern boreal forests of Eastern Kazakhstan / C. Dulamsuren, T. Wommelsdorf, F. Zhao, Y. Xue, B.Z. Zhumadilov, C. Leuschner, M. Hauck // *Ecosystems*. – 2013. – Vol. 16. – P. 1536-1549.

Dulamsuren, C. Hydraulic architecture and vulnerability to drought-induced embolism in southern boreal tree species of Inner Asia / C. Dulamsuren, S.B Abilova, M. Bektayeva, M. Eldarov et al. // *Tree Physiology*. – 2018. – V. 39, N 3. – P. 1-11.

Engelmark, O. Early Post-fire Tree Regeneration in a *Picea Vaccinium* Forest in Northern Sweden / O. Engelmark // *Journal of Vegetation Science*. – 1993. – V. 4. – P. 791-794.

Fang, O. The effect of climate on the net primary productivity (NPP) of *Pinus koraiensis* in the Changbai Mountains over the past 50 years / O. Fang, Y. Wang, X. Shao // *Trees*. – 2016. – Vol. 30. – P. 281-294.

Forrester, D.I., Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate / D.I. Forrester, I.H.H. Tachauer, P. Annighoefer, I. Barbeito, H. Pretzsch, R. Ruiz-Peinado, H. Stark, G. Vacchiano, T. Zlatanov, T. Chakraborty, S. Saha, G.W. Sileshi // *Forest Ecology and Management*. – 2017. – Vol. 396. – P. 160-175.

Franklin, J.F. Invasion of subalpine meadows by trees in the Cascade Range, Washington and Oregon / J.F. Franklin, W.H. Moir, G.W. Douglas, C. Wiberg // *Arctic Alpine Res.* – 1971. – N 3. – P. 215-224.

Fritts, H.C. The biological model for paleoclimatic interpretation of Mesa Verde tree-ring series / H.C. Fritts, D.G. Smith, M.A. Stokes // *American Antiquity.* – 1965. – Vol. 31, N 2. – P. 101-121.

Fritts, H.C. *Tree-rings and climate* / H.C. Fritts / – London; New York; San Francisco: Acad. Press, 1976. – 576 p.

Gorchakowsky, P.L. The upper forest limit in the mountains of the boreal zone of the USSR / P.L. Gorchakowsky, S.G. Shiyatov // *Arct. Alp. Res.* – 1978. – N 10. – P. 349-363.

Gottfried, M. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change / M. Gottfried, H. Pauli, A. Futschik, M. Akhalkatsi, P. Barancok et al. // *Nature Climate Change.* – 2012. – T. 2, N 2. – P. 111-115.

Graybill, D.A. A 1009 year tree-ring reconstruction of mean June-July temperature deviations in the Polar Urals / D.A. Graybill, S.G. Shiyatov // *Tree-Ring Research.* – 1997. – N 5. – P. 37-42.

Guarin, A. Drought triggered tree mortality in mixed conifer forests in Yosemite National Park, California, USA / A. Guarin, A.H. Taylor // *Forest Ecology and Management.* – 2005. – N 218. – P. 229-244

Hais, M. Exposure-related forest-steppe: A diverse landscape type determined by topography and climate / M. Hais, M. Chytry, M. Horsak // *J. of Arid Environment.* – 2016. – N 135. – P. 75-84.

Harsch, M. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming // M. Harsch, P. Hulme, M. McGlone, R. Duncan // *Ecology Letters.* – 2009. – Vol. 12, N 1. – P. 1040-1049.

Hellmann, L. Diverse growth trends and climate responses across Eurasia's boreal forest Thumbnail / L. Hellmann, L. Agafonov, F.Ch. Ljungqvist, O. Churakova et al. // *Environmental Research Letters.* – 2016. – T. 11, N 7. – P. 074021.

Hessl, A.E. Spruce and fir regeneration and climate in the forest-tundra eco-tone of Rocky Mountain National Park, Colorado, U.S.A. / A.E. Hessl, W.L. Baker // *Arctic and Alpine Res.* – 1997. – N 29. – P. 173-183.

Holtmeier, F.K. Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales / F.K. Holtmeier, G. Broil // *Global Ecology and Biogeography.* – 2005. – Vol. 14. – P. 395-410.

Holtmeier, F.K. Treeline advance – driving processes and adverse factors / F.K. Holtmeier, G. Broil // *Landscape Online.* – 2007. – Vol. 1. – P. 1-33.

Hustich, I. On the recent expansion of the Scotch pine in northern Europe / I. Hustich // *Fennia.* – 1958. – Vol. 82. – P. 1-25.

Jakubos, B. Invasion of subalpine meadows by lodgepole pine in Yellowstone National Park, Wyoming, U.S.A. / B. Jakubos, W.H. Romme // *Arctic and Alpine Res.* – 1993. – N 25. – P. 382-390.

Kammer, A. Upward-shifting treelines change soil organic matter dynamics in the Ural mountains / A. Kammer, F. Hagedorn, I. Shevchenko // *Global Change Biology.* – 2009. – N 15. – P. 1570-1583.

Kharuk, V.I. *Pinus sibirica* and *Larix sibirica* response to climate change in Southern Siberian alpine forest-tundra ecotone / V.I. Kharuk, K.J. Ranson, S.T. Im, M. L. Dvinskaya // *Scandinavian Journal of Forest Research.* – 2009. – Vol. 24, N 2. – P. 130-39.

Kharuk, V.I. Siberian pine decline and mortality in southern siberian mountains / V.I. Kharuk, S.T. Im, P.A. Oskorbin, I.A. Petrov, K.J. Ranson // *Forest Ecology and Management.* – 2013. – Vol. 310. – P. 312-332.

Klassner, F.L. A half century of change in alpine treeline patterns at Glacier National Park, Montana, U.S.A. / F.L. Klassner, D.B. Farge // *Arctic, Antarctic and Alpine Research.* – 2002. – Vol. 34, N 1. – P. 49-56.

Korner, C. A reassessment of high elevation treeline positions and their explanation / C. Korner // *Oecologia.* – 1998. – Vol. 115. – P. 445-459.

Korner, C. Carbon limitation in trees / C. Korner // *Journal of Ecology.* – 2003. – Vol. 91. – P. 4-17.

Kullman, L. Tree-limit stress and disturbance a 25-year survey of geoecological change in the Scandes mountains of Sweden / L. Kullman // *Geografiska Annaler*. – 1997. – Vol. 79A. – P. 139-165.

Kullman, L. Recent tree-limit dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the southern Swedish Scandes / L. Kullman // *Wahlenbergia (Scripta Botanica Umensia)*. – 1981. – N 8. – P. 1-67.

Kullman, L. 20th century climate warming and tree-limit rise in the Southern Scandes of Sweden / L. Kullman // *Ambio*. – 2001. – V. 30, N 2. – P. 72-80.

Kullman, L. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973-2005: implications for tree line theory and climate change ecology / L. Kullman // *Journal of Ecology*. – 2007. – N 95. – P. 41-52.

Kullman, L. Post-Little Ice Age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: a landscape ecological perspective / L. Kullman, L. Oberg // *Journal of Ecology*. – 2009. – Vol. 97. – P. 415-429.

LaMarche, V.C. Paleoclimatic inferences from long tree-ring records / V.C. LaMarche // *Science*. – 1974. – Vol. 183. – P. 1043-1048.

LaMarche, V.C. Climatic clues from tree rings / V.C. LaMarche // *New Scientist*. – 1975. – Vol. 66, N 943. – P. 8-11.

Lenoir, J. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century / J. Lenoir, J.C. Gegout, P.A. Marquet, P. de Ruffray, H. Brisse // *Science*. – 2008. – Vol. 320, N 5884. – P. 1768-1771.

Linderholm, H.W. Summer moisture variability in east central Sweden since the mid-eighteenth century recorded in tree rings / H.W. Linderholm, M. Niklasson, T. Molin // *Geografiska Annaler*. – 2004. – Vol. 86, N 3. – P. 277-287.

Liu, H. Rapid warming accelerates tree growth decline in semi-arid forests of Inner Asia / H. Liu, W.A. Park, C.D. Allen, D. Guo et al. // *Global Change Biology*, – 2012. – N 19 (8). – P. 2500-2510.

Lloyd, A.H. Holocene dynamic of treeline forests in the Sierra Nevada / A.H. Lloyd, L.J. Graumlich // *Ecology*. – 1997. – N 78. – P. 1199-1210.

Lloyd, A.H. Ecological histories from Alaskan tree line provide insight into future change / A.H. Lloyd // *Ecology*. – 2005. – Vol. 86. – P. 1687-1695.

Lloyd, A.H. Responses of the circumpolar boreal forest to 20th century climate variability / A.H. Lloyd, A.G. Bunn // *Environ. Res. Lett.* – 2007. – Vol. 2, N 4. – P. 1-13.

Lucht, W. Terrestrial vegetation redistribution and carbon balance under climate change / W. Lucht, S. Schaphoff, T. Erbrecht, U. Heyder, W. Cramer // *Carbon Balance Manage.* – 2006. – Vol. 1, N 6. – P. 1-7.

Miao, Z. Predicting tree growth dynamics of boreal forest in response to climate change / Z. Miao, C. Li // *Landscape Ecology in Forest Management and Conservation*. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. – P. 176-205.

McDowell, N. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? / N. McDowell, W.T. Pockman, C.D. Allen, D.D. Breshears et al. // *New Phytol.* – 2008. – Vol. 178. – P. 719-739.

McRae, D.J. Variability of fire behavior, fire effects and emissions in Scotch pine forests of Central Siberia / D.J. McRae, S.G. Conard, G.A. Ivanova, A.I. Sukhinin et al. // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. – 2006. – Vol. 11, N 1. – P. 45-74.

Miller, R.F. Fire history and western juniper encroachment in sagebrush steppe / R.F. Miller, J.A. Rose // *Journal of Range Management*. – 1999. – Vol. 52, N 6. – P. 550-559.

Moiseev, P.A. Vegetation Dynamics at the Tree-Line Ecotone in the Ural Highlands, Russia / P.A. Moiseev, S.G. Shiyatov // *Ecological Studies*. – 2003. – Vol. 167. – P. 423-435.

Oberhuber, W. Temporal dynamics of nonstructural carbohydrates and xylem growth in *Pinus sylvestris* exposed to drought / W. Oberhuber, I. Swidrak, D. Pirkebner, A. Gruber // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2011. – Vol. 41(8). – P. 1590-1597.

Payette, S. Fire as Controlling Process in North American Boreal Forest / S. Payette, H. Shugart, R. Leemans, G. Bonan Eds // Cambridge: Cambridge Univ. Press. – 1992. – P. 144-169.

Reinhardt, E.D. Modeling fire effects / E.D. Reinhardt, R.E. Keane, J.K. Brown // Int. J. Wildland Fire. – 2001 – V. 10, N 3-4. – P. 373-380.

Ren P. Growth rate rather than growing season length determines wood biomass in dry environments / P. Ren, E. Ziaco, S. Rossi, F. Biondi et al. // Agricultural and Forest Meteorology. – 2019. – N 271. – P. 46-53.

Rocheftort, R.M. Temporal and Spatial Distribution of Trees in subalpine meadows of Mount Rainer National park, Washington, U.S.A. / R.M. Rocheftort, D.L. Peterson // Arctic and Alpine Research. – 1996. – Vol.28, N 1. – P. 52-59.

Sato, H. Endurance of larch forest ecosystems in eastern Siberia under warming trends / H. Sato, H. Kobayashi, G. Iwahana, T. Ohta // Ecology and Evolution. – 2016. – Vol. 6 (16). – P. 5690-5704.

Scholze, M. A climate-change risk analysis for world ecosystems / M. Scholze, W. Knorr, N.W. Arnell, I. Prentice // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2006. – Vol. 103. – P. 13116-13120.

Schulman, E. Dendroclimatic changes in semiarid America / E. Schulman. – Tucson, Arozona: University of Arizona Press, 1956. – 142 p.

Schuster, R. Drought sensitivity of three co-occurring conifers within a dry inner Alpine environment / R. Schuster, W. Oberhuber // Trees (Berl West). – 2013. – Vol. 27, N 1. – P. 61-69.

Schweingruber, F.H. Tree Rings and Environment. Dendroecology / F.H. Schweingruber. – Birmensdorf; WSL/FNP: Bern, Stuttgart, Vienna Haupt Publ., 1996. – 609 p.

Seibert, J. Topographical influences on soil properties in boreal forests / J. Seibert, J. Stendahl, R. Sorensen // Geoderma. – 2007. – N 141. – P. 139-148.

Shiyatov, S.G. Reconstruction of climate and the upper timberline dynamics since AD 745 by tree-ring data in the Polar Ural Mountains / S.G. Shiyatov // Intern conf. on

past, present and future climate: Proc. of the SILMU conf. held in (Helsinki, Finland 22-25 Aug. 1995). Helsinki. – 1995. – P. 144-147.

Shiyatov, S. The impact of climate changes on forest-tundra vegetation in the Ural Mountain highlands during the 20th century / S. Shiyatov P. Moiseev, O. Tchechlov // Workshop on Climate Change at High Elevation Sites: Emerging Impacts (HIGHEST II) (Davos, Switzerland, 25-28 June, 2001). – Davos, 2001. – P. 125-127.

Shiyatov, S. Spatio-temporal dynamics of forest-tundra ecosystems under climate change in the Polar Ural Mountains / S. Shiyatov, O. Tchekhlov // Tree Rings and People. International Conference on the Future of Dendrochronology. (Davos, 22-26 September, 2001). Eds. Michele Kaenel Dobbertin and Otto Ueli Braker. Published by the Swiss Federal Research Institute WSL. – 2001. – P. 82.

Shiyatov, S.G. Rates of change in the upper treeline ecotone in the Polar Ural Mountains / S.G. Shiyatov // PAGES News. – 2003. – Vol.11, N 1. – P. 8-10.

Shiyatov, S.G. Altitudinal and horizontal shifts of the upper boundaries of open and closed forests in the Polar Urals in the 20th century. / S.G. Shiyatov, M.M. Terent'ev, V.V. Fomin, N.E. Zimmermann, // Russian Journal of Ecology. – 2007. – Vol. 4, N 38. – P. 223-227.

Sizykh, A.P. Afforestation of Extrazonal Steppes in the Baikal Region / A.P. Sizykh // Open Access Library Journal. – 2016. – N 3. – P. 1-4.

Stegen, J.C. Variation in above-ground forest biomass across broad climatic gradients / J.C. Stegen, N.G. Swenson, B.J. Enquist, E.P. White, O.L. Phillips, P.M. Jorgensen, M.D. Weiser, A.M. Mendoza, P.N. Vargas // Global Ecology and Biogeography. – 2011. – Vol. 20 (5). – P. 744-754.

Taylor, A.H. Forest expansion and climate change in the mountain hemlock (*Tsuga mertensiana*) zone, Lassen Volcanic National Park, California, U.S.A. / A.H. Taylor // Arctic and Alpine Res. – 1995. – N 27. – P. 207-216.

Tierney, G.L. Soil freezing alters fine root dynamics in a northern hardwood forest / G.L. Tierney, T.J. Fahey, P.M. Groffman, J.P. Hardy, R.D. Fitzhugh, C.T. Driscoll // Biogeochemistry. – 2001. – V. 56. – P. 175-190.

Tchebakova, N.M. Impacts of climate change on the distribution of *Larix* spp. and *Pinus sylvestris* and their climatypes in Siberia / N.M. Tchebakova, G.E. Rehfeldt, E.I. Parfenova // *Mitigation and Adaptation Strategies of Global Change*. – 2005. – N 11. – P. 861-882.

Tchebakova, N.M. Century climate change effects on the forests and primary conifers in central Siberia / N.M. Tchebakova, E.I. Parfenova. // *Bosque*. – 2012. – N 33(3). – P. 253-259.

Tchebakova, N.M. Phytomass change in the mountain forests of southern Siberia under climate warming / N.M. Tchebakova, R.A. Monserud, E.I. Parfenova // *Researchgate*, 2001 P. 1-13. [Электронный ресурс] <https://www.researchgate.net/publication/237368571>.

Vale, T.R. Tree invasion of montane meadows in Oregon / T.R. Vale // *American Midland Naturalist*. – 1981. – N 105. – P. 61-69.

Wang, T. Climatic signals in tree ring of *Picea schrenkiana* along an altitudinal gradient in the central Tianshan Mountains, northwestern China / T. Wang, H.B. Ren, K.P. Ma // *Trees - Structure and Function*. – 2005. – Vol. 19, N 6. – P. 735-741.

Wallis de Vries, M.F. The vegetation of the forest-steppe region of Hustain Nuruu, Mongolia / M.F. Wallis de Vries, N. Manibazar, S. Dürgerlham // *Vegetatio*. – 1996. – N 122 (2). – P. 111-127.

Wilmking, M. Recent climate warming forces contrasting growth responses of white spruce at treeline in Alaska through temperature thresholds / M. Wilmking, G.P. Juday, V.A. Barber, H.S.J. Zald // *Glob. Change Biol*. – 2004. – V. 10. – P. 1724–1736.

Woodward, A. Climate, geography, and tree establishment in subalpine meadows of the Olympic Mountains, Washington, U.S.A. / A. Woodward, E.G. Schreiner, D.G. Silsbee // *Arctic and Alpine Res*. – 1995. – N 27. – P. 217-225.

Xu, C. Long-term forest resilience to climate change indicated by mortality, regeneration, and growth in semiarid southern Siberia / C. Xu, H. Liu, O. Anenkhonov, A. Yu. Korolyuk et al. // *Global Change Biology*, – 2017. – N 23. – P. 2370-2382.

Xugao, W. The long-term effects of fire suppression and reforestation on a forest landscape in Northeastern China after a catastrophic wildfire. / W.Xugao, S.H. He, L. Xiuzhen // *Landscape and Urban Planning*. –2007. – Vol. 79, N 1. – P. 84-95.

Zeng, W.S. Individual tree biomass equations and growth models sensitive to climate variables for *Larix* spp. in China / W.S. Zeng, H.R. Duo, X.D. Lei, X.Y. Chen, X.J. Wang, Y. Pu, W.T. Zou // *European Journal of Forest Research*. – 2017. – Vol. 136. – P. 233-249.

Zhang, X. Snowmelt and early to mid-growing season water availability augment tree growth during rapid warming in southern Asian boreal forests / X. Zhang, R.D. Manzanedo, L. D'Orangeville, T.T. Radmacher, et al. // *Global Change Biology*. – 2019. – Vol. 25(10). – P. 1-10.

Zhang, X. Warmer Winter Ground Temperatures Trigger Rapid Growth of Dahurian Larch in the Permafrost Forests of Northeast China / X. Zhang, X. Bai, M. Hou, Z. Chen, R.D. Manzanedo // *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. – 2019. – Vol. 124 (5). – P.1088-1097.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Изменение площади безлесных участков на горных массивах Крака
за последние 30 лет

№№ группы участ- ков	Название группы участков	Количе- ство участ- ков	Площадь в 1986 г., га	Площадь в 2016 г., га	Разница площади за 30 лет, га	%
1	2	3	4	5	6	7
В целом массиве Крака		1471	11660,0	9608,2	2051,8	17,6
Южный Крака						
1	Акбиик Малый	36	221,5	162,5	58,9	26,6
2	Сангильды	24	70,3	48,8	21,6	30,7
3	Карагасбиик	24	113,8	81,4	32,4	28,5
4	Уртагыр	8	78,9	58,0	20,9	26,4
5	Акбиик Большой	37	305,3	216,8	88,5	29
6	Аркрыкыр	15	70,1	55,6	14,5	20,7
7	Ускундуй	33	168,9	134,6	34,3	20,3
8	Большой Башарт	9	161,2	132,5	28,7	17,8
9	Башарт	30	364,5	286,6	77,8	21,4
10	Горелый Каший	9	154,6	120,3	34,3	22,2
11	Большой Апшак	18	160,6	124,3	36,3	22,6
12	Малый Апшак	33	218,2	199,8	18,4	8,5
13	У д. Магадей и Яумбай	17	229,0	183,4	45,7	20
14	Ашкаровские горы	13	23,8	21,5	2,3	9,8
15	Деревенские горы	15	49,9	81,3	-31,4	-63
16	Малый Кулукай	18	80,3	65,3	15,0	18,7
17	Запад Кулукайских гор	30	251,0	245,8	5,2	2,1
18	Центр-запад Кулукайских гор	36	245,4	251,1	-5,8	-2,3
19	Центр-восток Кулукайских гор	39	430,5	342,1	88,5	20,5
20	Восток Кулукайских гор	39	427,7	371,9	55,8	13
21	Запад хр. Ямангыр	28	365,2	219,7	145,5	39,8
22	Восток хр. Ямангыр	61	224,4	198,8	25,6	11,4

Окончание приложения 1

1	2	3	4	5	6	7
23	Хребет Большой Юкали	28	119,3	189,3	-70,0	-58,7
26	Ср. течение р. Саргая	18	88,7	68,9	19,9	22,4
27	Хребет Анкыс	47	193,9	259,9	-66,0	-34
28	Гора Каншал	28	104,6	85,2	19,5	18,6
29	Гора Авдэктэ	86	798,1	616,3	181,9	22,8
30	У д. Кильдигулово	57	254,9	147,7	107,2	42,1
31	На склонах к р. Агидель	38	349,6	253,9	95,6	27,4
Итого на Южному Крака		943	6559,8	5633,0	926,8	14,1
Северный Крака						
1	У д. Серменево	9	75,0	42,1	32,9	43,8
2	Большой Крака	19	508,3	364,5	143,7	28,3
3	У р.МалыйСаргая	12	165,6	118,1	47,5	28,7
4	Восточная часть хребта Акбиик	14	477,7	351,2	126,4	26,5
5	Суртанды	37	307,8	238,0	69,7	22,7
6	Центральная часть хребта Акбиик	31	465,8	315,0	150,8	32,4
7	Гора Астой	41	485,8	370,3	115,5	23,8
8	Гора Первая	33	479,1	357,0	122,1	25,5
9	Малый Крака	6	211,6	127,3	84,3	39,8
Итого по Северному Крака		202	3176,6	2283,9	892,7	28,1
Средний Крака						
1	Гора Саловай	40	395,2	359,0	36,1	9,1
2	Синдлевские горы	24	101,8	76,3	25,6	25,1
3	Гора Катарыш	42	254,7	282,8	-28,2	-11,1
4	Западная часть Центрального Крака	57	345,0	277,1	67,9	19,7
5	Восточная часть Центрального Крака	35	279,0	239,8	39,2	14
6	Южная часть Центрального Крака	60	397,5	349,1	48,4	12,2
7	У р. Кага	68	150,5	107,1	43,4	28,8
Итого по Среднему Крака		326	1923,6	1691,3	232,3	12,1