Supported by:

Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety

based on a decision of the Parliament of the Federal Republic of Germany

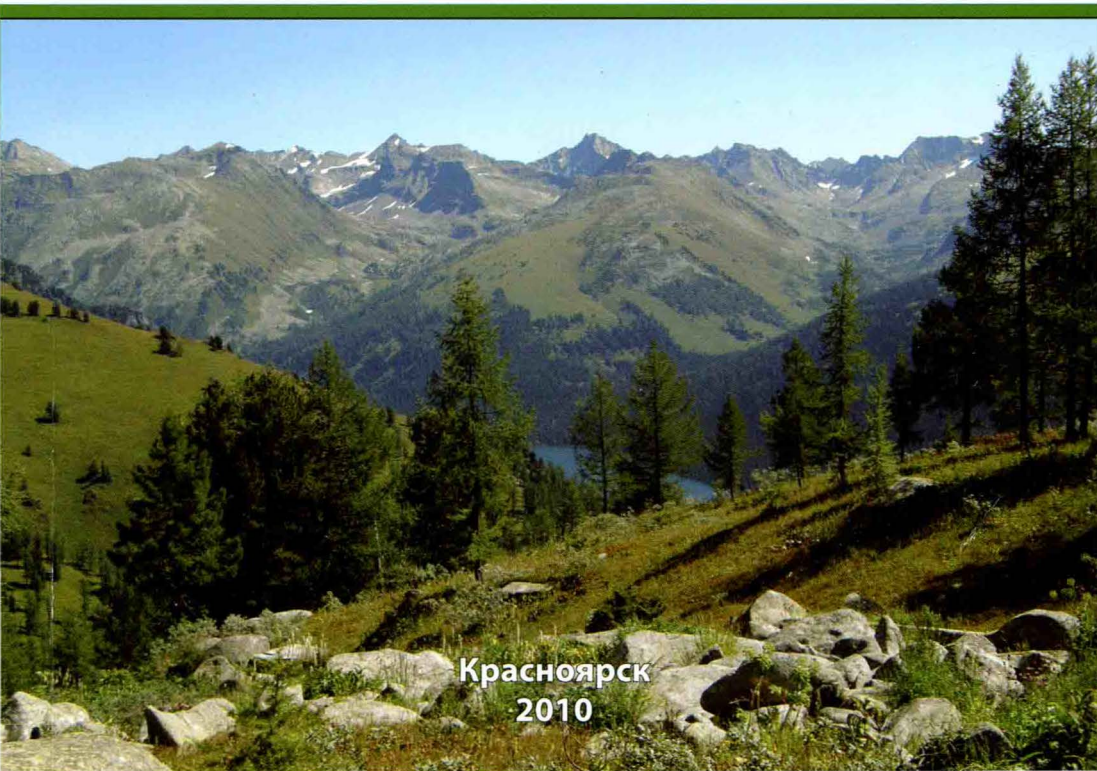
Climate protection pays off! GERMANY'S CLIMATE INITIATIVE

АЛТАЕ-САЯНСКИЙ ЭКОРЕГИОН

UNDP Россия

П.А. Моисеев, С.Г. Шиятов, Н.М. Дэви

ПРОГРАММА МОНИТОРИНГА ЭКОТОНА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ АЛТАЕ-САЯНСКОГО ЭКОРЕГИОНА



Красноярск
2010

Институт экологии растений и животных
Уральского отделения Российской академии наук

Проект ПРООН/МКИ «Расширение сети ООПТ
для сохранения Алтае-Саянского экорегиона»

П.А. МОИСЕЕВ, С.Г. ШИЯТОВ, Н.М. ДЭВИ

ПРОГРАММА МОНИТОРИНГА ЭКОТОНА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ АЛТАЕ-САЯНСКОГО ЭКОРЕГИОНА

КРАСНОЯРСК
2010

УДК 630*18 (Экология лесных растений)
ББК 43.425 (Экология леса)
Моисеев П.А., Шиятов С.Г., Дэви Н.М. Программа мониторинга экотона верхней границы древесной растительности на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона. Красноярск, 2010. – 86 с.

Программа мониторинга экотона верхней границы древесной растительности была разработана на основе опыта работ по изучению динамики древесной растительности в высокогорьях Урала и Кузнецкого Алатау с учетом специфики природных условий особо охраняемых природных территорий Алтае-Саянского экорегиона. Программа включает в себя следующие компоненты: наблюдения за структурой древостоев и напочвенного покрова, за появлением и выживанием проростков и всходов, за процессами роста и морфогенеза древесных видов, изменением микроклимата; фиксацию изменений в составе и структуре древостоев и напочвенного покрова с помощью повторного фотографирования. В ней также отражены принципы и критерии выбора постоянных пробных площадей, сроки и периодичность проведения наблюдений, формы полевой документации, а также проект электронной базы данных для хранения и обработки полевых результатов, в т.ч. фотодокументации.

Издание адресовано специалистам особо охраняемых природных территорий, а также географам, биологам, экологам, работающим в области исследования динамики экосистем горных регионов.

Ответственный редактор: Яшина Т.В.
Рецензент: Кнорре А.А., к.б.н., ст. научный сотрудник Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Издание осуществлено при финансовой поддержке проекта ПРООН/МКИ «Расширение сети ООПТ для сохранения Алтае-Саянского экорегиона».

Программа развития Организации Объединенных наций (ПРООН) является глобальной сетью ООН в области развития, выступающей за позитивные изменения в жизни людей путем предоставления доступа к источникам знаний, опыта и ресурсов.

Мнение авторов публикации не обязательно отражает точку зрения, заявляемую в ПРООН, в учреждениях системы ООН и организациях, сотрудниками которых являются авторы.

Издание является некоммерческим и распространяется бесплатно.

Copyright © UNDP 2010
Все права защищены
Отпечатано в России
ISBN 978-5-904314-28-6

РЕЦЕНЗИЯ

на работу **Моисеева П.А., Шиятова С.Г., Дэви Н.М.**
«Программа мониторинга экотона верхней границы древесной растительности на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона»

Предложенная авторами программа мониторинга состояния и динамики экотона верхней границы древесной растительности является своевременной из-за назревшей потребности в изучении климатически обусловленных изменений, наблюдаемых в последние десятилетия во многих высокогорных ландшафтах по всему миру.

Программа имеет четкую структуру и состоит из введения, части, посвященной методам проведения полевых и камеральных работ, списка используемой литературы, глоссария и приложений.

Во введении подробно освещена проблематика исследований, посвященных динамике верхней границы леса, конкретизирована их цель и задачи, приведено научное обоснование и выделена общая концепция работ.

Далее приводятся подробные методические описания отдельно для проведения полевых работ (что, безусловно, является основой для успешного выполнения всей программы), а также методические основы для дальнейшей камеральной обработки полученного материала и его анализа. Последняя должны быть логическим завершением очередного этапа проводимого мониторинга, и от качества его (анализа) выполнения зависит точность окончательных выводов по намеченной программе.

Список используемой литературы наглядно показывает заинтересованность мирового научного сообщества в работах данной направленности. Абсолютное доминирование иностранной литературы (33 источника из 55) только подтверждает значительную изученность проблемы в разных точках мира (Канада, США, Европа, Новая Зеландия) и выявляет неудовлетворительную наполненность информацией о состоянии вопроса для горных экосистем России.

Наличие в программе глоссария снимает возможные неоднозначности в понимании некоторых терминов и может значительно облегчить осмысление поставленных задач.

Существенным положительным моментом является включение в программу мониторинга уже разработанных и апробированных в ранее проводимых исследованиях принципов кодировки и форм заполнения учетных карточек с подробным описанием объектов мониторинга. Данный подход позволит значительно сократить время, затрачиваемое на осуществление программных работ, и унифицировать все полученные данные.

Наряду с основными положительными моментами разработанной программы мониторинга хотелось бы обозначить некоторые замечания и предложения. Так, в подразделе «Общая концепция», возможно, излишне подробно описывается экологическое обоснование влияния климатических факторов на формирование растительных сообществ. В разделе «Методы изучения структуры древостоев» необходимо ограничиться взятием буровых образцов древесины, без изъятия (спила) живых деревьев – тем более если такие действия заранее не предусмотрены Лесохозяйственным регламентом и Проектом освоения лесов ООПТ. Зачастую методические указания по проведению работ даются в очень пространной форме, что может несколько затруднять их восприятие людьми, ни разу не выполнявшими подобные исследования.

Несмотря на высказанные замечания, представленная программа может быть осуществлена на ООПТ Алтае-Саянского экорегиона. Направление по изучению динамики верхней границы леса может послужить существенным, значимым дополнением в проводимом длительном мониторинге состояния экосистем на заповедных территориях.

Ст. научный сотрудник Института леса
им. В.Н. Сукачева СО РАН, к.б.н.
А.А. Кнорре

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. Введение. 7
1.1. Цели и задачи 8
1.2. Научное обоснование 9
1.3. Общая концепция 12

2. Методы проведения полевых работ 19
2.1. Принципы и критерии подбора мест и методы закладки мониторинговых площадей 19
2.1.1. Принципы и критерии подбора мест закладки мониторинговых площадей 19
2.1.2. Методы закладки высотного профиля 20
2.1.3. Методы закладки макроплощадок 22
2.2. Методы изучения структуры древостоев 23
2.3. Методы исследования процессов возобновления древесных видов 27
2.3.1. Наблюдения за процессами семеношения 27
2.3.2. Наблюдения за появлением и выживанием проростков и всходов 29
2.4. Мониторинг изменений в напочвенном покрове. 30
2.5. Наблюдение за процессами роста и формообразования древесных видов 31
2.5.1. Изучение процессов роста деревьев 31
2.5.2. Наблюдение за процессами формообразования древесных видов 32
2.6. Наблюдения за изменениями микроклимата и условиями местообитаний 34
2.6.1. Изучение температурного режима на пробных площадях 34
2.6.2. Изучение мощности снежного покрова на пробных площадях 34
2.7. Повторное ландшафтное фотографирование 35
2.8. Картирование текущего положения верхних пределов древостоев различной сомкнутости и фотодокументирование современной обстановки 38

3. Камеральная обработка и организация результатов мониторинга. 42
3.1. Методика определения возраста деревьев 42
3.2. Анализ морфометрических параметров деревьев и истории формирования древостоев 46
3.3. Анализ процессов возобновления древесных видов 48

3.4. Анализ пространственных изменений в напочвенном покрове 49
3.5. Анализ процессов роста и формообразования древесных видов ... 49
3.6. Анализ изменений микроклимата и условий мест произрастаний .. 50
3.7. Анализ изображений на повторных фотографиях 51
3.8. Картирование текущего положения и оценка смещений верхних пределов древостоев различной сомкнутости 52

Список литературы. 56

Глоссарий. 60

Приложения. 65
Приложение I. Общая схема закладки профиля и площадок (с примерами) 66
I.A. Общая схема закладки профиля 66
I.Б. Общая схема закладки площадок 67
I.В. Примеры оптимальных мест для размещения профилей 68
Приложение II. Принципы кодировки площадок и пробных образцов .. 70
Приложение III. Формы полевых бланков и проекта электронной базы данных для хранения и обработки полевых результатов 71

Сведения об авторах. 83

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия интерес мировой общественности к изучению реакции экосистем и их отдельных компонентов на изменения климата существенно возрос. Это связано с необходимостью оценки последствий произошедшего потепления во многих районах нашей планеты в XX веке, а также разработки глобальной модели возможных изменений биосферы при продолжении этих процессов. Согласно оценкам IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), в высоких широтах наблюдается наиболее значительное увеличение температуры по сравнению с умеренными и тропическими. Поэтому при продолжении глобального потепления климата в полярных регионах и высокогорьях должны произойти самые значительные изменения в биоте, в том числе смещение к северу и выше в горы ботанико-географических зон и рубежей, в частности полярной и верхней границ распространения древесной растительности.

Высокогорья Алтае-Саянского экорегиона (АСЭ) являются критически важным районом для сохранения биоразнообразия. Это подтверждается включением АСЭ в список 200 глобально значимых экорегионов мира, составленный Всемирным фондом дикой природы (WWF). На территории региона находятся два объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО: «Золотые горы Алтая» и «Убсунурская котловина». Занимая более миллиона квадратных километров на территории Центральной Азии в границах России, Монголии, Китая и Казахстана, АСЭ охватывает основные биомы Восточной Евразии: альпийскую тундру, горно-таежные леса, степи и полупустыни.

В настоящее время угрозу для глобально значимого биоразнообразия АСЭ представляет ряд факторов – начиная с постоянно возрастающего влияния хозяйственной деятельности на природные экосистемы и заканчивая недооцененными последствиями, связанными с изменением климата. За период инструментальных наблюдений в Алтае-Саянском экорегионе отмечен рост среднегодовой температуры на 2,8°С (Харламова, 2000). Этот фактор усиливается возросшими сезонными перепадами температур, изменениями количества осадков, а также изменениями гидрологического режима в связи с интенсивным таянием ледников. Изменение климата вызывает и ряд изменений в ландшафтной структуре и экосистемах региона. К ним относятся сокращение площади современного оледенения, таяние многолетнемерзлых грунтов, изменение структуры экосистем, в т.ч. положения границ высотных поясов.

Одним из наиболее существенных компонентов динамики природных экосистем горных территорий под воздействием климатических изменений является сдвиг верхних пределов распространения различных категорий древесной растительности (сомкнутых лесов, редколесий, ре-

дин и отдельных деревьев). Многие исследователи, изучавшие древесную растительность на верхним пределе ее произрастания в различных регионах мира: в Канаде (Kearney, 1982; Lavoie, Payette, 1992), в США (Denton, Karlen, 1977; Jakubos, Romme, 1993; Taylor, 1995; Weisberg, Baker, 1995; Woodward et al., 1995; Lloyd, Graumlich, 1997), в Северной Европе (Kullman, Engelmark, 1997; Kullman, 2007; Kullman, Цberg, 2009), в Новой Зеландии (Wardle, Coleman, 1992), – отмечают интенсивное лесовозобновление и смещение вверх границ древостоев различной сомкнутости на 30–60 м высоты в течение последних 60–80 лет. В России аналогичные изменения наблюдались на Южном (Шиятов, 1983; Moiseev, Shiyatov, 2003; Моисеев и др., 2004), Северном (Моисеев и др., 2008, 2010) и Полярном Урале (Шиятов, 1967, 1983, 1993, 2005, 2009). Этот климатически обусловленный процесс отмечается и в Алтае-Саянском экорегионе (Моисеев, 2002; Харук и др., 2008; Kharuk et al., 2010), что существенным образом отражается на развитии горных ландшафтов. В рамках традиционных работ по экологическому мониторингу в разное время в некоторых ООПТ (заповедники Алтайский, Саяно-Шушенский и др.) проводились наблюдения за положением верхней границы отдельных видов древесной растительности, однако на настоящий момент эти работы носят несистематический характер; отсутствует единая методология проведения этого вида долгосрочного мониторинга. В то же время наблюдения за динамикой древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания являются важной составной частью программы мониторинга изменений экосистем ООПТ, вызванных изменением климата.

1.1. Цели и задачи

Основной **целью** программы является организация в Алтае-Саянском экорегионе системы долгосрочного слежения за динамикой древесной и кустарниковой растительности на верхнем пределе их произрастания в ответ на изменения климата.

Дополнительной целью программы является оценка прошлых изменений в структуре экотона верхней границы древесной и кустарниковой растительности на основе анализа морфометрической и возрастной структуры древостоев, сравнения изображений на старых и современных ландшафтных фотографиях и аэрофотоснимках, на тематических крупномасштабных картах, что крайне важно для понимания того, в какой степени уже трансформировались высокогорные экосистемы в связи с произошедшими в последние столетья изменениями климата.

Исходя из этого были поставлены следующие **задачи:**

• оценить современное состояние древесной и кустарниковой растительности на верхнем пределе их произрастания в АСЭ, а именно:

- охарактеризовать ландшафтные особенности и растительный покров ключевых вершин основных высокогорных провинций АСЭ,

- изучить структуру древостоев различной сомкнутости и состава в различных частях экотона верхней границы древесной растительности (ЭВГДР) на ключевых вершинах,

- исследовать плодоношение и возобновление доминирующих хвойных видов в пределах ЭВГДР,

- выявить основные закономерности роста и формообразования древесных видов на верхнем пределе их произрастания;

• изучить особенности микроклимата и почвенно-гидрологических условий в пределах ЭВГДР;

• реконструировать пространственно-временную динамику древесной и кустарниковой растительности на верхнем пределе их произрастания в последние столетия на основе анализа:

- изображений на старых и современных ландшафтных фотографиях,

- старых и современных описаний и тематических карт,

- времени появления и отмирания отдельных деревьев и древостоев.

1.2. Научное обоснование

Осредненные поверхностные температуры во всем мире повысились на 0,74°С за период с 1906 по 2005 год и примерно от 0,2 до 0,4°С за последние 50 лет (МГЭИК, 2007). Рабочая группа II МГЭИК, проанализировав воздействие изменения климата на экосистемы, утверждает, что удвоение концентрации CO_2, вероятно, приведет к увеличению осредненной глобальной температуры на 1–3,5 градуса, что вызовет исчезновение 25–40% экосистем зон бореальных лесов и арктических тундр на севере Евразии (вместе с экосистемами, приуроченными к вершинам гор в высокогорных регионах (МГЭИК, 2007). Все это определило в последнее время резкое увеличение интереса мировой общественности к изучению реакции экосистем и их отдельных компонентов на изменения климата. Необходимо оценить последствия произошедшего потепления во многих районах нашей планеты в XX веке и разработать глобальную модель возможных изменений биосферы при продолжении этих процессов.

Экосистемы и сообщества в высокогорьях очень чувствительны к изменению климата – главным образом потому, что климатические градиенты (особенно температурный) и определяемые ими границы растительных поясов находятся здесь на очень коротком расстоянии друг от друга и измеряются подчас сотнями метров (Groot, Ketner, 1994). Поэтому повышение температуры на 3 градуса может привести к смещению вверх по склонам на сотни метров границ климатических поясов и определяемых ими линий вечных снегов. Это превысит среднюю ширину отдельного

высотного пояса растительности и может вызвать значительные изменения в биоте и исчезновение многих альпийских видов, особенно в экосистемах, приуроченных к вершинам гор (Stone, 1996). Исходя из этого исследования процессов, происходящих в высокогорьях выше границы сомкнутых лесов, являются одними из самых важных для оценки влияния последствий произошедших климатических изменений и наблюдения за реакцией наземных экосистем на будущие изменения.

Многие исследователи, изучавшие арктические и альпийские пределы распространения древесной растительности в различных регионах мира, отмечают интенсивное лесовозобновление и смещение вверх границ древостоев различной сомкнутости на 30–60 метров в течение последних 60–80 лет (Brinks, 1959; Franklin et al., 1971; Gorchakovsky, Shiyatov, 1978; Gottfried, Pauli, Grabherr, 1998; Hessl, Baker, 1997; Kearney, 1982; Kullman, 1979, 1981, 1986, 1990; Lloyd, 1997; Payette, Gargon, 1979; Payette, Filion, 1985; Taylor, 1995; Weisberg, Baker, 1995; Woodward et al., 1995). Результаты таких исследований обобщены в работах Payette, Lavoie (1994), Holtmeier (2003), Harsch et al. (2009). Известны попытки восстановить динамику структуры редколесий на верхней границе их распространения (с помощью методов сравнительного анализа старых геоботанических описаний лесотундровой растительности и фотоснимков, выполненных в конце XIX – начале XX века, с современными данными). Такие работы были проведены для горных систем Скандинавии (Kullman, 1979, 1986, 1991), запада Северной Америки (Munroe, 2003) и Урала (Шиятов, 1983; Moiseev, Shiyatov, 2003; Шиятов, 2009). Но большинство приведенных выше исследований все же не имели длительный характер, а повторные описания изученных ранее (50–90 лет назад) растительных сообществ практически не проводились, за исключением нескольких работ на Полярном Урале (Шиятов, Мазепа, 2007) и в Скандинавии (Kullman, Oberg, 2009).

В связи с этим в конце 1990-х годов группой австрийских ученых из Венского университета был предложен проект по созданию глобальной сети стандартных мониторинговых площадей (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments – GLORIA) для наблюдения за влиянием изменений климата на биоту высокогорий (горные участки выше границы сомкнутых лесов) (Grabherr et al., 2000). В 2000 году группа получила финансовую поддержку со стороны Европейского союза, что позволило в 2001–2003 гг. заложить 76 стандартных мониторинговых площадей в 18 горных регионах Европы (включая 3 на Урале). К настоящему времени (2010 г.) наблюдения ведутся в 77 целевых регионах на всех континентах мира (см. www.gloria.ac.at). В основу исследований в рамках инициативы GLORIA был положен методический подход, получивший название «многовершинный» (multi-summit approach). Суть его заключается в том, что в

пределах одного района исследований (target region) пробные площади должны быть размещены не менее чем на четырех «макушках» (зона от высшей точки горы до высоты на 10 м ниже нее) разновысотных гор, образующих единую серию, в пределах которой представлена растительность переходных полос между различными высотными поясами и субпоясами:

1) горно-лесным и горно-тундровым (луговым);

2) нижней частью горно-тундрового пояса, где доминируют кустарниковые и кустарничковые сообщества, и верхней частью пояса, где доминируют травянистые виды;

3) сомкнутой травянистой растительностью верхней части тундрового пояса и растительностью субнивального пояса;

4) в пределах субнивального пояса ближе к верхнему пределу распространения сосудистых растений.

Основным преимуществом данного подхода является его простота в использовании и универсальность: в любом горном регионе можно подобрать серию вершин требуемой формы и размера, которые будут мало отличаться по почвенно-гидрологическим условиям, а их высота будет определять различия в климатической обстановке. Недостатком этого подхода является следующее: изменения на мониторинговых площадях, заложенных в специфических условиях (сильно ветрообдуваемые, малоснежные и сравнительно сухие участки вершин гор), могут хорошо отражать реакцию растительных сообществ на общие изменения климата в регионе. Однако полученные здесь данные не могут быть экстраполированы на более влажные и многоснежные участки склонов, которые обычно преобладают в большинстве горных районов мира. Поэтому на начальных этапах обсуждения данной инициативы не исключалось и проведение дополнительных мониторинговых наблюдений ниже по склонам и создание так называемых «исследовательских полигонов» (master sites). Так как подобные работы требуют более существенных, чем основной подход, временных и финансовых затрат, а также опыта в подборе мест закладки мониторинговых площадей, заинтересованным группам было предложено производить разработку и апробацию методов в факультативном порядке, а на международных встречах в рамках программы GLORIA проводить обмен опытом и постепенно выработать оптимальную схему таких исследований.

В Институте экологии растений и животных УрО РАН еще в 1950–60-х годах были начаты исследования структуры и высотного положения экотона верхней границы древесной растительности в Уральских горах (Горчаковский, Шиятов, 1970; Шиятов, 1962). В ходе выполнения работ по международному проекту ИНТАС (INTAS-01-0052) и на основе накопленного опыта за предшествующие годы была разработана программа иссле-

дований пространственно-временной динамики ЭВГДР и отработана методика закладки мониторинговых площадей, в том числе на склонах гор, использованных для проведения работ в рамках проекта GLORIA-EUROPE. В результате исследований по этому гранту, а также по грантам РФФИ-05-04-48466, РФФИ-07-04-00850, РФФИ-08-04-00208, РФФИ-10-05-00778 данная методика была успешно применена при изучении древесной растительности на ключевых горных массивах Южного (массив Иремель, г. Дальний Таганай), Северного (массив г. Конжаковский Камень), Приполярного (окрестности г. Неройка) и Полярного (окрестности г. Черная) Урала. В итоге были созданы цифровые карты растительности ключевых горных массивов Южного и Северного Урала, заложены 17 высотных профилей из серий пробных площадей размером 20 на 20 м более чем на 20 га, где были описаны около 20 тысяч деревьев и единиц подроста (у 11 тысяч определен возраст) и проведены наблюдения за температурами воздуха и почв, мощностью снежного покрова.

Но многие современные экосистемы, в том числе и горные, существенно трансформированы или постоянно подвергаются целому комплексу антропогенных влияний, начиная от разных типов рубок, охоты, выпаса скота, сенокошения и заканчивая химическим воздействием на среду (кислотные дожди, другие воздушные загрязнители). Поэтому зачастую исследования влияния изменений климата на такие экосистемы не могут проводиться вне контекста влияния антропогенных факторов, что существенно осложняет выявление климатически обусловленных процессов внутри экосистем. В связи с этим уникальными полигонами для проведения долговременных наблюдений за реакцией наземных экосистем на региональные изменения климата могут служить особо охраняемые природные территории (ООПТ), в частности Алтае-Саянского экорегиона, объединенные в глобальную сеть и охватывающие наиболее ценные участки нетронутых или малонарушенных экосистем, которые изъяты из хозяйственной деятельности человека.

1.3. Общая концепция

Слежение за динамикой древесной и кустарниковой растительности на верхнем пределе ее произрастания в ответ на современные изменения климата в Алтае-Саянском экорегионе предполагается проводить на серии высотных профилей, заложенных на склонах *ключевых горных массивов*, расположенных в пределах особо охраняемых природных территорий и на сопредельных участках. Профильный подход, основанный на исследовании разнообразных реакций особей отдельных видов, популяций и экосистем на воздействия меняющихся по градиенту факторов среды, является широко известным, хорошо себя зарекомендовавшим и – на

данное время – одним из фундаментальных. Он взят за основу при проведении широкомасштабных исследований по научному плану The IGBP Terrestrial Transects (the IGBP Reports №36, 1995) в рамках одного из ключевых проектов Международной геосферно-биосферной программы (IGBP), называемого GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems).

Профили предполагается располагать в ЭВГДР, *экотоне верхней границы древесной растительности*, под которым понимается переходный пояс растительности в горах между верхней границей распространения сомкнутых лесов и верхней границей распространения отдельных деревьев в тундре (Горчаковский, Шиятов, 1985).

Экотон верхней границы древесной растительности включает несколько категорий верхних пределов древесной растительности (по П.Л. Горчаковскому, С.Г. Шиятову, 1985) (рис. 1.):

1) верхняя граница отдельных деревьев. Она представляет собой линию, соединяющую кратчайшим путем самые верхние пункты произрастания отдельных деревьев (стволовой, кустовой или стланиковой формы роста) среди горных тундр или лугов;

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

3) верхняя граница островных мелколесий (редколесий). Это линия контакта между самыми верхними лесными фитоценозами и примыкающими к ним нелесными (сомкнутость крон деревьев 0,2–0,3 с расстоянием между ними от 7–10 до 20–30 м). Лесными признаются участки растительности, где выражен древесный ярус, высота деревьев превышает высоту кустарникового яруса в 2–3 раза, сомкнутость крон деревьев 0,1 и более, а средний диаметр участков не менее чем в 5 раз превышает среднюю высоту древесного яруса;

4) верхняя граница сплошных лесов. Ниже границы островных мелколесий лесные фитоценозы обычно смыкаются, образуя более или менее сплошные массивы (сомкнутость крон деревьев 0,4–0,5 с расстоянием между ними менее 7–10 м).

Особое внимание предполагается уделить изучению структуры растительного покрова в различных типах местообитаний и на разных высотных уровнях. Растения и образуемые ими сообщества являются основой большинства экосистем мира. Они очень чувствительны к изменениям климатических факторов, которые существенно влияют на их рост и воспроизводство и способствуют изменению их морфологических параметров и продуктивности. Реальные климатические условия сезона вегета-

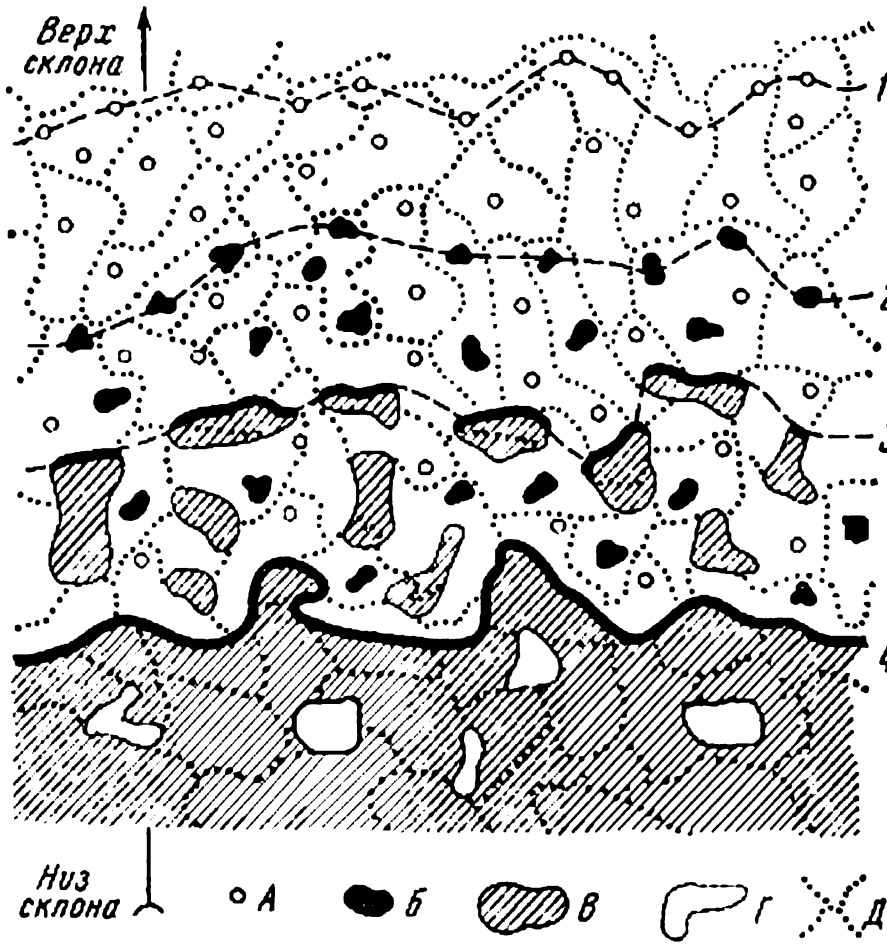


Рисунок 1. Общая схема экотона верхней границы древесной растительности (по Горчаковскому, Шиятову, 1985).

На схеме приведены верхние пределы: 1 – отдельных деревьев; 2 – групп деревьев (редин); 3 – островных мелколесий (редколесий); 4 – сомкнутых лесов; А – отдельные деревья; Б – группы деревьев; В – лесные островки и массивы; Г – нелесные фитоценозы; Д – границы между фитоценозами

ции и его длительность непосредственно отражаются на годичных приростах стволов и побегов в длину и толщину, длине хвои, размерах шишек, времени начала роста побегов и распускания листьев, начале цветения и плодоношения, окончания роста побегов и т.д. Особенности изменений климатических условий более длительного порядка влияют на конкурентные взаимоотношения, плотность и структуру популяций растений. Это, в свою очередь, влияет на видовую и пространственную структуру растительных сообществ. Но, как известно, микроклиматические условия неодинаковы на разных высотных уровнях в горах, и поэтому это ведет к изменению особенностей роста и развития отдельных растений и основных характеристик образуемых ими растительных сообществ.

Для этой цели на склонах разной экспозиции и с доминированием различных видов древесных растений предполагается заложить на трех – пяти высотных уровнях серии постоянных пробных площадей размером 20х20 м (не менее трех на каждом) от верхней границы распространения сомкнутых лесов до верхней границы произрастания отдельных групп деревьев. В пределах каждой пробной площади предполагается закартировать все деревья и подрост высотой более 20 см и измерить у них морфометрические параметры (высота, диаметр на высоте груди и у основания ствола, протяженность и горизонтальная проекция кроны), а также взять буровые образцы древесины для определения возраста. Для абсолютной датировки времени появления и гибели деревьев, точного определения их возраста планируется широкое использование методов древесно-кольцевого анализа. В основу этих методов положена процедура перекрестного датирования, которая позволяет выявлять ложные и выпадающие годичные кольца и привязывать индивидуальные древесно-кольцевые хронологии к календарной шкале (Шиятов, 1986). Высокая точность (до года) датировки древесных колец, выявление основных факторов, оказывающих влияние на величину радиального прироста деревьев, определение точного возраста у всех деревьев на пробных площадях позволят реконструировать ход формирования древостоев на разных высотных уровнях и выявить периоды, благоприятные и неблагоприятные для появления новых поколений (Моисеев, 2002; Моисеев и др., 2004, 2008, 2010).

Большое значение для изучения динамики древостоев будут иметь наблюдения за начальными этапами возобновления основных доминирующих древесных видов. Эти этапы включают в себя формирование и созревание семян, их вылет и распространение, появление и выживание всходов.

Специальный акцент предполагается сделать на изучении растительности нижних ярусов, чей состав и структура являются хорошими индикаторами как почвенно-грунтовых, так и климатически обусловленных осо-

бенностей (мощность снежного покрова, температурный режим почв) местообитаний.

Особое внимание предполагается уделять проведению микроклиматических исследований на пробных площадях вдоль градиента ряда факторов среды (глубины снега, экспозиции склона, высоты над уровнем моря (н.у.м.), сомкнутости крон деревьев). Температура воздуха и почвы является одним из основных экологических факторов, контролирующих рост и развитие всех живых организмов. Атмосферные осадки и влага, поступающая по почвенным капиллярам из грунтовых вод, определяют влажность верхнего горизонта почвы, от которой также в большой степени зависит жизнедеятельность всех почвенных организмов и наземных растений. От мощности снежного покрова зависит продолжительность вегетационного периода (чем его мощность больше, тем дольше он лежит и короче период вегетации) и степень защищенности вегетативных побегов от вымораживающего эродирующего воздействия зимних ветров. Ветер влияет на скорость транспирации и тепловой баланс организмов и – тем самым – на их водный режим и температуру. Все эти характеристики микроклимата являются основными факторами, влияющими на выживаемость и развитие живых организмов. В то же время они существенно изменяются вдоль высотного градиента. Так, на каждые 100 метров высоты температура воздуха в среднем уменьшается на 0,5–0,7°С, количество осадков возрастает в среднем на 50–100 мм. Количество снега на склонах зависит от интенсивности метелевого переноса; и, как правило, снега мало на сильно обдуваемых безлесных вершинах и много в верхней части залесенных склонов, куда он сдувается. Скорость ветра также возрастает с увеличением высоты, где она достигает максимальных значений. С другой стороны, характеристики микроклимата значительно трансформируются под влиянием растительного покрова, особенно в лесных сообществах. Уменьшается сезонная и суточная амплитуды колебаний температуры и влажности воздуха; при этом средняя температура под пологом леса уменьшается, а средняя относительная влажность возрастает. Скорость ветра в лесу значительно снижается.

До настоящего времени для аналогичных исследований использовались миниатюрные термодатчики (в высокогорьях Полярного, Северного и Южного Урала) (Кошкина и др., 2008; Моисеев и др., 2008). Стоимость таких приборов в последнее время значительно снизилась, что дает возможность в рамках данной программы осуществить широкомасштабные микроклиматические наблюдения, которые позволят количественно оценить степень влияния термического фактора на рост, возобновление и динамику древостоев в различных типах местообитаний и в разные сезоны года. В случае выявления высокой синхронности изменений темпера-

тур на мониторинговых участках и ближайших метеостанциях открывается возможность интерполировать длительные ряды имеющихся метеоданных на климат изучаемых участков высокогорий.

Предполагаемые снегомерные работы позволят оценить мощность и состояние снежного покрова непосредственно на обследованных в летний период пробных площадях и выявить зависимости между максимальной глубиной снега и морфометрией деревьев (форма и протяженность кроны) и целых древостоев (видовой состав, сомкнутость крон), а также экспозицией, высотой н.у.м., микрорельефом и ветровой нагрузкой (Hiemstra et al., 2002; Moiseev et al., 2006).

Для оценки изменений климатических условий в прошлом предполагается использовать результаты дендроклиматических реконструкций, для чего требуется проведение специальных работ по сбору образцов древесины, измерению и датировке годичных колец, созданию древесно-кольцевых хронологий и поиску связей между индексами прироста и климатическими переменными (Шиятов и др., 2000).

В рамках программы мониторинга предполагается проведение тематического крупномасштабного картирования лесных, лесотундровых и лесолуговых сообществ, произрастающих в пределах экотона верхней границы леса, с использованием современных аэрофотоснимков, а также данных по возрастной и морфологической структуре древостоев на конкретных участках (выделах). Современное состояние древостоев в пределах каждого выдела будет оцениваться методами глазомерной таксации непосредственно на местности (Горчаковский, Шиятов, 1970; Капралов и др., 2006). Результатом этой работы будет создание карт распределения различных фитоценотических типов лесотундровых и лесных экосистем (отдельно растущих деревьев в тундре, редин, редколесий, криволесий и сомкнутых лесов) с описаниями основных морфометрических характеристик древостоев (состав, сомкнутость крон, высота древостоев, процентное соотношение одно- и многоствольных, стланиковых форм роста и др.).

Как показал опыт предыдущих лет (Шиятов, 1983; Moiseev, Shiyatov, 2003; Шиятов, 2009), большую помощь при оценке прошлого состояния древесной растительности оказывают изображения на ландшафтных снимках, сделанных много десятилетий тому назад. Большую ценность такие снимки имеют для количественной и качественной оценки происшедших в древостоях и лесных массивах изменений, а также для иллюстрации этих изменений. В условиях высокогорий определить точку съемки обычно не представляет особой сложности в силу многоплановости изображений и открытости территории. Одной из задач настоящей программы является определение точек первоначальной съемки в прошлом, повторное фотографирование и анализ полученных изображений с целью оце-

нить происшедшие изменения в составе и структуре древостоев (соотношение форм роста стволов, средней высоты, сомкнутости, видового состава и т.п.) и напочвенного покрова. При наличии зимних фотографий с постоянными по высоте и расположению объектами (скалы и большие валуны) возможна оценка мощности снежного покрова в разные годы. Для точек, с которых будут делаться повторные снимки, будет определяться точное географическое положение (широта, долгота, высота н.у.м.) при помощи навигаторов GPS и ГЛОНАСС. В дальнейшем это позволит легко идентифицировать местонахождение точки съемки и тем самым следить за происходящими изменениями.

Главным результатом исследований по этой программе будет создание материальной и методологической базы для системы долгосрочного слежения за процессами влияния ожидаемого изменения климата на структуру и динамику основных компонентов горных экосистем АСЭ (в виде постоянных пробных площадей, заложенных на профилях вдоль высотного градиента). На этих площадях будет получена информация о прошлых изменениях в экосистемах, об их современном состоянии и об основных факторах среды, влияющих на состав, структуру и динамику основных компонентов горных экосистем. Полученная информация в свою очередь будет служить основой для предсказания будущих изменений в составе и структуре горных экосистем АСЭ под влиянием ожидаемых изменений климата.

Итак, в рамках программы мониторинга предполагается проведение следующих видов работ:

1) изучение структуры древостоев (*обязательно*);

2) мониторинг процессов возобновления древесных видов (*обязательно*);

3) мониторинг изменений в напочвенном покрове (*обязательно*);

4) наблюдение за процессами роста и формообразования древесных видов (*дополнительно*);

5) наблюдения за изменениями микроклимата и условиями местообитаний (*обязательно*);

6) повторное ландшафтное фотографирование (*обязательно*);

7) картирование текущего положения верхних пределов древостоев различной сомкнутости *(дополнительно*).

2. МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

2.1. Принципы и критерии подбора мест и методы закладки мониторинговых площадей

2.1.1. Принципы и критерии подбора мест закладки мониторинговых площадей

Так как основной целью данной программы является организация системы долгосрочного слежения за динамикой древесной и кустарниковой растительности на верхнем пределе их произрастания в ответ на современные изменения климата, то большое значение имеет правильный выбор *ключевых горных массивов* и подходящих склонов (для исключения существенного влияние неклиматических факторов).

Основными требованиями к выбору ключевых горных массивов являются следующие:

1) климатические условия на горном массиве не должны явно отличаться от фоновых для этой части Алтае-Саянского экорегиона по причине перекрывания близлежащими горными хребтами основных путей переноса воздушных масс или расположения в «ветровой трубе», т.е. вблизи узкого участка горной долины, через которую происходит перетекание воздушных масс с одного макросклона системы горных хребтов на другой;

2) горный массив должен быть сложен горными породами, схожими по химическому составу (или кислые, или основные, или ультраосновные) с большей долей территории этой части Алтае-Саянского экорегиона;

3) на склонах горного массива должна присутствовать типичная для этой части Алтае-Саянского экорегиона растительность, а выше верхней границы древесной растительности - горно-тундровые и горно-луговые сообщества, занимающие в целом не менее 20% от общей площади массива;

4) В границах горного массива не должно отмечаться существенное влияние рекреационных нагрузок, пожаров и выпаса скота на прошлое и современное состояние растительного покрова; недолжно быть явных признаков чрезмерного воздействия диких копытных животных на растительный покров;

5) на горном массиве должно иметься не менее трех склонов, где на всех высотах, характерных для экотона верхней границы древесной растительности, можно найти участки:

- с хорошо сформировавшимися почвами с увлажнением, близким к среднему;
- со схожими по химическому составу горными породами;
- близкие по экспозиции (с расхождением не более 20 градусов);
- без сильно выраженного мезорельефа (без больших повышений и понижений);

• с каменистостью, не превышающей 40%;

• с уклоном, находящимся в пределах от 10 до 30 градусов;

• шириной не менее 200 м;

• с однородной ветровой нагрузкой и направлением переноса воздушных масс;

• с постепенным изменением сомкнутости древостоев от горных лесов (0,4–0,6) к редколесьям (0,2–0,4), рединам (0,05–0,2) и далее отдельным деревьям (0,01–0,05) – без резких переходов – на протяжении не менее 500 м.

Закладывать необходимо несколько высотных профилей (не менее двух, но оптимально три) – для наиболее полного охвата характерных для этой части региона типов растительных сообществ и условий местообитания: по одному для каждого основного лесообразующего в данной части региона вида деревьев, встречающегося в массовом количестве на протяжении хотя бы одного из склонов изучаемых горных массивов (для Алтая это может быть лиственница сибирская и кедр сибирский; для Западного и Восточного Саяна, Кузнецкого Алатау – пихта сибирская, лиственница сибирская, кедр сибирский). Если на верхнем пределе доминирует всего один вид, то необходимо заложить по одному профилю на склонах с различной экспозицией.

Для сокращения объема работ намечается закладывать не сплошные профили, а прерывистые, когда мониторинговые площадки располагаются по высоте через каждые 30–50 м. Учитывая, что высотный диапазон лесотундрового экотона обычно не более 150–200 м, то в пределах профиля необходимо заложить макроплощадки на четырех-пяти высотных уровнях. Если имеется возможность закладки сплошного профиля (шириной до 40–80 м и длиной до 500–1000 м), то такая инициатива приветствуется.

2.1.2. Методы закладки высотного профиля

Для проведения данных работ требуется GPS-приемник с альтиметром, рулетка 20 или 50 м, буссоль, лопата, трубки диаметром 5–7 см (пластмассовые) для фиксации центров мониторинговых площадок.

1. На выбранном участке склона, который удовлетворяет приведенным выше требованиям и где можно заложить площадки на трех – пяти высотных уровнях (согласно приложению I.A), определяется направление профиля. При помощи буссоли определяется экспозиция и крутизна склона на различных участках профиля. В связи с особенностями рельефа и расположением каменных россыпей не всегда можно заложить профиль строго вдоль одной линии. Допускается изменение направления профиля на отдельных его отрезках в пределах 5–15є.

2. Закладку профиля лучше производить сверху вниз. Для этого нужно подняться до высоты расположения **верхней границы редин (сомкнуто-**

стью 0,05–0,1 и расстоянием между деревьями от 20–30 до 50–60 м) (см. рис. 1) и выбрать участки склона, где есть возможность заложить достаточное количество площадок (5 шт.) размером 20 на 20 м (далее макроплощадок) **верхнего** уровня в пределах однородного по растительности и условиям мест произрастания выдела. Соотношение площадей лесных и нелесных участков на макроплощадках должно быть сходно со средним соотношением их в пределах этого выдела.

3. В пределах этого выдела нужно установить базовый деревянный столб или каменную пирамиду и масляной краской нанести код макроплощадки согласно принятой системе кодировки (см. приложение II). С помощью GPS-приемника требуется определить высоту н.у.м. и географические координаты. В непосредственной близости от базового столба (см. варианты ниже) при помощи буссоли и строительной 50-метровой рулетки нужно наметить расположение центров пяти макроплощадок.

Допускается несколько вариантов расположения макроплощадок относительно базового столба. *Наиболее приемлемым* является *строго схематичный* вариант, снижающий субъективность в подборе мест закладки и время на проведение разметки пробных площадей. Он заключается в том, что центры всех площадок находятся на одном расстоянии, равном 40 м, от базового столба и лежат на взаимно перпендикулярных линиях, одна из которых параллельна, а другая перпендикулярна общему направлению склона (см. приложение I.А).

В связи с сильной неоднородностью расположения каменистых россыпей на склонах большинства горных массивов нередко возникает необходимость сдвинуть пробную площадь в сторону (вверх или вниз, влево или вправо), чтобы исключить участки, покрытые на 80–100% выходами обломков горных пород, гдерост и возобновление древесных видов крайне ограничены эдафическими факторами – отсутствием сформировавшихся почв. При этом допускается, чтобы высотное положение центров макроплощадок различалось не более чем на 5–10 м друг от друга, а расстояние между центрами базового столба и макроплощадок было не меньше 40 м и не больше 100 м. Особое внимание следует обращать на то, чтобы макроплощадки не выходили за пределы однородного по растительности и условиям мест произрастания выдела.

В центрах всех макроплощадок устанавливаются центральные столбы высотой около 1,5–1,7 м (до средней высоты глаз), удобной для определения местоположения деревьев на площадке (азимута при помощи буссоли). Сначала в почву вбивается алюминиевая или пластмассовая трубка *(диаметром 5 см и длиной 25 см)*, а в нее вставляется и вбивается подогнанный под ее диаметр конец центрального столба. Позже масляной краской надо нанести код макроплощадки согласно принятой системе кодировки (см. приложение II).

Схема расположения всех макроплощадок относительно базового столба, их азимут и расстояние в метрах записываются в специальную ведомость (см. приложение III, форма №1), а для каждого центра макроплощадки определяются высота н.у.м., ее географические координаты при помощи GPS-приемника, уклон склона и экспозиция.

4. Требуется также закладка пяти макроплощадок еще одного высотного уровня (*тундрового*) выше по склону на 50 м от предыдущих макроплощадок с целью слежения за продвижением верхней границы распространения редин в будущем.

5. Далее следует спуститься вниз по склону до высоты расположения **верхней границы редколесий (сомкнутостью 0,2–0,3 и расстоянием между деревьями от 7–10 до 20–30 м).** Обычно она ниже на 30–50 м от границы редин. Здесь требуется выбрать следующий выдел и местоположение базового столба, а также провести разметку и установку центров макроплощадок **среднего** уровня.

6. На следующем этапе нужно спуститься вниз по склону до высоты расположения **верхней границы сомкнутых лесов (сомкнутостью 0,4–0,5 и расстоянием между деревьями менее 7–10 м).** Обычно она ниже на 30–50 м от границы редколесий. Здесь требуется выбрать следующий выдел и местоположение базового столба, а также провести разметку и установку центров макроплощадок **нижнего** уровня.

7. Так как для всех горных регионов характерна большая гетерогенность в мощности снегового покрова в пределах одних и тех же склонов, связанная в основном с локальными особенностями мезорельефа (понижения или повышения), то дополнительно к основным площадкам профиля желательна закладка на всех высотных уровнях по 3 макроплощадки как на мало-, так и многоснежных участках.

2.1.3. Методы закладки макроплощадок

Для разметки углов и разделительных линий требуется буссоль, шесть измерительных лент длиной 20 м, 8 деревянных колышков высотой 60–150 см и 16 – высотой 20–40 см.

1. Разметку надо начинать от центрального столба макроплощадки, от которого по четырем взаимно перпендикулярным направлениям (см. приложение I.Б), одно из которых совпадает с общим направлением склона, при помощи буссоли и рулетки отмерить линии длиной 10 м. На концах этих линий нужно вбить деревянные колышки высотой, достаточной для их свободного обнаружения в травянистом покрове (обычно 60–150 см).

2. Затем с концов этих линий также при помощи рулетки и буссоли нужно определить местоположение углов макроплощадки. При этом будут оконтурены 4 мезоплощадки размером 10х10 м. Мезоплощадки А1 и

А2 являются рабочими, а мезоплощадки Б1 и Б2 – контрольными. Углы макроплощадок отмечаются пирамидами из камней и деревянными колышками, а при отсутствии камней лишь колышками. Они должны иметь высоту, достаточную для их свободного обнаружения в травянистом покрове. Данные об азимуте от центра по линии между мезоплощадками А1 и Б1 записываются в ведомости (см. приложение III, форма №1).

3. Для учета численности и параметров всходов изучаемых видов, а также для изучения видового состава, проективного покрытия и высоты растений нижнего яруса фитоценоза в пределах мезоплощадок Б1 и Б2 закладывается в систематическом порядке 8 микроплощадок (см. приложение I.Б). Для этого в пределах мезоплощадки растягиваются две рулетки параллельно одной из сторон пробной площади на расстоянии 4,5 и 5,5 м от нее. Затем согласно схеме на этих линиях закладывается 4 микроплощадки 1 на 1 м на расстоянии 0,5, 2,5, 6,5 и 8,5 м от левого края. Аналогичная закладка производится по перпендикулярной полосе. В углах полос шириной 1 м, по которым будут заложены микроплощадки, нужно установить 8 деревянных колышков (высотой 20–40 см), а в углах микроплощадок – пластиковые мини-колышки высотой 8–12 см (например, пластиковые одноразовые суповые ложки) для облегчения поиска при проведении повторных обследований в будущем.

2.2. Методы изучения структуры древостоев

Для проведения работ требуется: буссоль с точностью до 0,5 градуса, рулетка длиной 20 м, рулетка длиной 10 или 20 м, складная удочка высотой до 7 м (в случаях, если высота древостоев выше 7 м, – удлиненная дополнительным шестом снизу), электронный высотомер, возрастной бур, ножовка, бланки с формами таблиц, этикетки для кернов, скотч или бумажные контейнеры для хранения буровых образцов, карандаш, полиэтиленовые кульки, фотоаппарат, доска для указаний кода площадки при фотосъемке, клей ПВА (100–150 г) и газеты или писчая бумага для изготовления бумажных контейнеров, ножницы канцелярские (1 шт.), лейкопластырь белый шириной 1,5–2 см для маркировки срезов всходов и мелкого подроста (3–4 упаковки), маркеры.

1. Работы желательно производить группами по 3–4 человека. Один участник должен стоять в центре пробной площади у центрального столба высотой около 1,5–1,7 м (до уровня глаз) и измерять азимут по буссоли в направлении описываемых деревьев. Также в его функцию должна входить запись данных, сообщаемых другими участниками группы. Второй участник должен измерять направление от центра площади до дерева (при помощи 20-метровой рулетки), диаметр у основания дерева и на высоте груди, диаметр кроны в двух направлениях (при помощи 10-мет-

ровой рулетки). Третий участник должен измерять (при помощи телескопической удочки длиной 6–9 м или электронного высотомера) расстояние от поверхности земли до нижнего края кроны, верхнего края юбки кроны (при ее наличии), нижнего края верхней части кроны (при ее наличии) и вершины дерева (см. рис. 2), а также помогать измерять диаметр проекции кроны третьему участнику. Четвертый участник должен бурить деревья у основания ствола, оформлять этикетки для буровых образцов и упаковывать их.

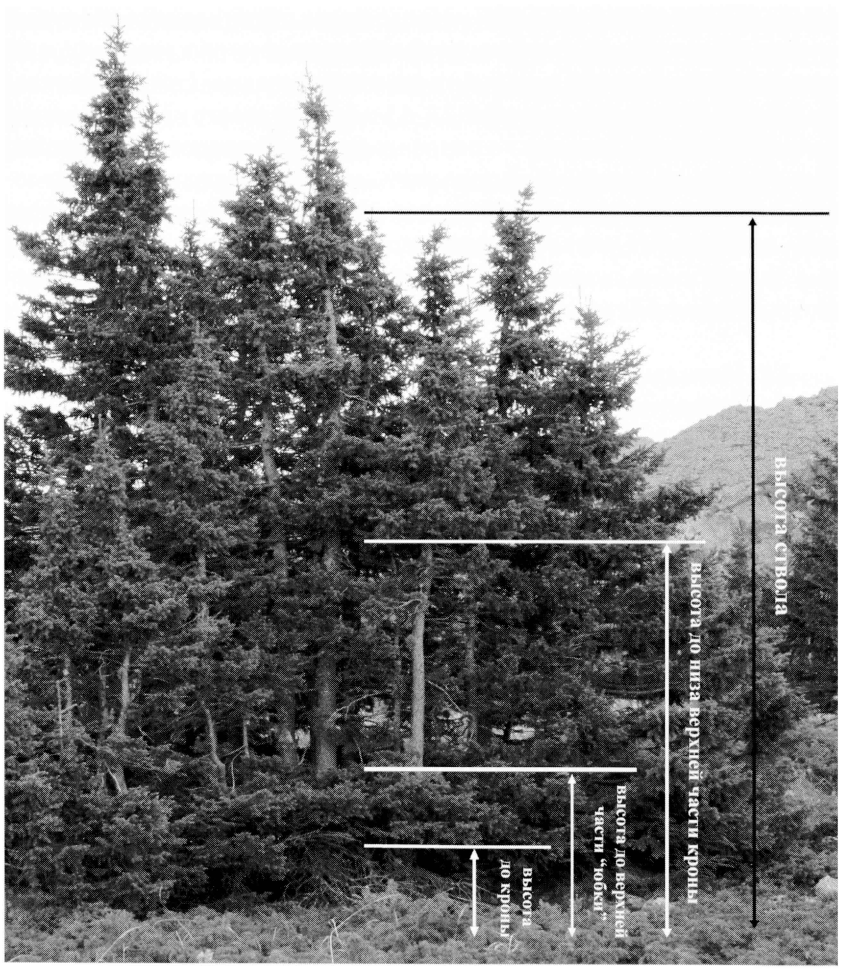


Рисунок 2. Части кроны и стволов деревьев

2. Перед началом работ на каждой макроплощадке производится круговая фотосъемка от центрального колышка, начиная с направления вверх по склону (по линии между мезоплощадками А1 и Б1). Фокусное расстояние должно быть 50 мм. В кадре обязательно должна быть табличка с кодом макроплощадки (согласно приложению II) и номером кадра по часовой стрелке (например, KUZ-TIG-I-10-5.2_1), которую придерживает руками один из участников. При съемке фотоаппарат должен быть расположен вертикально.

3. Перед началом описания древостоев производится присвоение номеров каждому живому или усохшему стволу дерева. Для этого, начиная с верхней левой мезоплощадки (А1) и дерева, расположенного наиболее близко к нижней ее грани, на земле у основания стволов со стороны центрального столба производится раскладывание листочков бумаги с номерами, заранее распечатанными или написанными. Порядок движения должен соответствовать линиям, то удаляющимся, то приближающимся к центру (при соблюдении общего направления движения по часовой стрелке).

4. После этого первый участник записывает в верхней части полевой ведомости (приложение III, форма №2) код макроплощадки, время и дату проведения работ. Начиная описание каждого ствола, он пишет в специальном столбце номер и название вида дерева (сокращенно: пихта – П, лиственница – Л, кедр – К, береза – Б). При помощи буссоли определяет азимут, угол в градусах между направлением на север и на центр ствола; записывает в ведомость. Оценивает жизненное состояние по пятибалльной шкале (здоровое – 5, здоровое механически поврежденное – 4, угнетенное – 3, больное – 2, мертвое – 1) и происхождение каждого ствола (семенное (одноствольное дерево) – С или вегетативное (ствол многоствольного дерева) – В).

5. Второй участник крепит конец 20-метровой рулетки в нижней части центрального столба, растягивает до середины левого или правого края основания первого дерева и определяет расстояние до ствола (в метрах с точностью до 0,05 м). Затем измеряет при помощи 10-метровой рулетки периметр ствола (в сантиметрах) на высоте 10–30 см и на высоте 130–140 см; сообщает его участнику, ведущему запись данных. Если дерево многоствольное (каждый ствол выходит из земли по отдельности), то каждый стволик описывается отдельно и ему присваивается собственный номер. В полевой ведомости в столбце «Номер первого ствола в многоствольнике» делается отметка об этом; стволики одного дерева отмечаются тем же номером, что первый описанный в многоствольной куртине (форма №2). Если дерево многовершинное (ствол разветвляется на несколько вершин выше уровня земли), то в столбце «высота повреждения» указывается расстояние от земли до места разделения.

Измеряется общий диаметр у основания, а высота и диаметр на высоте груди описываются отдельно для каждой вершины в отдельной строке, но при этом новый номер каждой вершине не присваивается, а лишь добавляется литера (например: 23а, 23б, 23в и т.д.).

6. Третий участник, приставив измерительную удочку рядом с краем кроны, направленным вверх по склону (или настроив электронный высотомер), и отойдя на расстояние 7–15 м выше или вбок, определяет (в метрах), сравнивая с отметками на удочке (или по показаниям высотомера), следующее: высоту дерева; высоту облома ствола (раздвоения или облома побега) – при его наличии; расстояние от земли до первых живых ветвей (расстояние до кроны); высоту до верхнего края юбки кроны – при ее наличии; высоту начала верхней части кроны (если выше юбки есть оголенная снеговой шлифовкой часть ствола). Также он помогает второму участнику при помощи 10-метровой рулетки измерять диаметр проекции кроны в двух направлениях. Одно – вдоль господствующего направления ветров (наибольший диаметр), второе – в перпендикулярном направлении (меньший диаметр), а если это не выражено – вдоль и поперек склона. У многоствольных деревьев диаметр проекции кроны измеряется для всех стволов вместе.

7. Четвертый участник в пределах рабочих мезоплощадок (А1 и А2) производит бурение каждого живого ствола с диаметром более трех сантиметров (как можно ближе к началу точки роста – гипокотилю), а у каждого усохшего ствола выпиливает диск или делает высечку до центра у основания ствола (от 0 до 20 см). Рекомендуется брать керны по наибольшему радиусу (обычно он находится на подветренной стороне ствола). Если дерево имеет стволовую или сердцевинную гниль или если бур попал на обширный сучок, а также сильно отклонился от сердцевины ствола (более чем на 1 см), то необходимо произвести повторное бурение выше или рядом по другому радиусу. Если ствол имеет обширную сердцевинную гниль, то можно попробовать взять керн выше основания (20–70 см), где гнилая древесина встречается реже. Каждый буровой керн заворачивается в широкий упаковочный скотч и помещается в бумажный или пластиковый контейнер (), а на его поверхности или этикетке, прикрепленной к нему, пишется код макро- и мезоплощадки, вид и номер дерева, высота взятия керна (в сантиметрах). Все буровые образцы с одной мезоплощадки надо упаковать в один бумажный пакет, указать код мезоплощадки и дату взятия образцов. Для определения возраста подроста с диаметром менее трех сантиметров каждый третий по счету экземпляр сначала изымается из земли, а потом чуть выше места ответвления первых боковых корней (наиболее вероятное место начала роста) выпиливается участок стволика. Если этого не сделать хотя бы локально в пределах ра-

бочих мезоплощадок (А1 и А2), то не будет возможности вычислить длительность роста каждого пробуренного дерева до высоты взятия бурового образца (см. в издании «Методики определения возраста деревьев», стр. 34). Для образцов подроста готовятся такие же этикетки и приклеиваются надписью наружу при обмотке спила скотчем. После окончания описания деревьев на мезоплощадке (как правило, это бывает значительно раньше, чем окончание бурения) один из участников также начинает бурить деревья, а остальные двое – писать этикетки и заворачивать керны. После окончания бурения на этой мезоплощадке действия продолжаются на следующих мезоплощадках. В среднем при наличии около 60–90 деревьев на макроплощадке для выполнения этих работ требуется около одного рабочего дня.

Повторные описания древостоев желательно проводить каждые десять лет. Бурение взрослых деревьев для определения возраста делать не нужно, а возраст вновь появившегося подроста можно определять по годичным рубцам на стволах.

2.3. Методы исследования процессов возобновления древесных видов

2.3.1. Наблюдения за процессами семеношения

Для проведения данных работ требуется ведомость, садовый секатор для обрезки высоко расположенных ветвей, бумажные пакеты для шишек, маркер.

Для наблюдения за процессами семеношения необходимо на каждом высотном уровне (рядом с макроплощадками) выбрать 20–30 деревьев доминирующего на площадках вида (лиственница, кедр, пихта) с различными диаметрами ствола на высоте груди (по 2–3 в каждой четырехсантиметровой ступени толщины. Например, 9–12, 13–16 и так далее, до 32–36 см). Далее необходимо присвоить им порядковые номера, описать их местоположение (указать расстояние и азимут от центрального столба ближайшей макроплощадки), измерить диаметр на высоте груди и высоту ствола. Глазомерно для каждого модельного дерева (желательно в солнечную погоду) необходимо оценить класс урожайности по шкале О.Г. Каппера (1954) с уточнениями А.А. Молчанова (1967) для отдельных видов деревьев; занести в специальную ведомость (приложение III, форма №3).

Градации плодоношения у сосны, ели, пихты и лиственницы имеют разные показатели, что связано с особенностями плодоношения каждого древесного вида. Например, у ели и пихты подавляющее количество шишек сосредоточено на первых двух метрах от вершины, у сосны – до половины кроны и более, у лиственницы шишки разбросаны по всей кроне. Это в значительной мере обусловлено освещением. У ели лучше ос-

вещена вершина, у сосны свет распространяется глубже благодаря меньшей сомкнутости кроны, у лиственницы – еще глубже.

Для **сосны** баллы плодоношения и признаки обилия урожая следующие:

1: при осмотре кроны на дереве не удается обнаружить шишек;

2: с трудом удается обнаружить один-два десятка шишек, причем они заметны на двух-трех ветвях первого порядка, главным образом с южной стороны кроны. При проверке на срубленных моделях можно насчитать 25–125 шишек;

3: шишки заметны на 1/5–2/6 ветвей третьего порядка, главным образом в верхней части кроны на расстоянии 2–3 м от вершины с юго-западной стороны; при пересчете на стоящих деревьях их не более 100, на срубленных – 125 и более;

4: шишки заметны на 2/5–4/5 ветвей третьего порядка, много их на расстоянии 2–3 м от вершины с юго-западной стороны, есть они и на других частях кроны; пересчет дает до 200 штук, на срубленных деревьях оказывается до 400;

5: очень много шишек. На всех или почти на всех ветвях третьего порядка. Они довольно равномерно размещены по всей кроне. Сосчитать хотя бы приблизительно количество шишек на растущем дереве очень трудно; на срубленных их оказывается более 1000.

Оценка плодоношения для **ели и пихты** в баллах следующая:

0: шишек на дереве нет, их не удается обнаружить и при помощи бинокля;

1: на протяжении 0,5–1 м от вершины можно заметить единичные шишки (5–10) на ветвях, или они сконцентрированы на одной-двух ветвях с южной стороны;

2: на протяжении 0,5–1 м от вершины кроны равномерно и группами шишки разбросаны в пределах 1–1,5 м кроны по всем ветвям с южной стороны и единично с северной;

3: на протяжении 0,5–1 м от вершины кроны, особенно с южной стороны, наблюдается обилие шишек в пределах 2 м кроны. Очень часто шишки висят на ветвях не равно-мерно, а гроздями, по 5–10 на одной ветке;

4: много шишек. Крона обильно усеяна шишками на протяжении 3–4 м.

5: очень много шишек. Очень часто они встречаются не только в средней, но и в нижней части кроны. Шишки висят гроздями по 10–15 штук, от чего ветви сильно прогибаются.

Баллы плодоношения **лиственницы** характеризуются так:

1: нет шишек. На стоячем дереве их не видно, после срубки удается найти до 30 штук;

2: при осмотре удается обнаружить единично разбросанные шишки на сучках первого порядка с южной стороны кроны. В среднем на каждый сук первого порядка приходится не более семи шишек. После срубки насчитывается до 180;

3: на южной части кроны на суках первого порядка невооруженным глазом удается обнаружить до 20 шишек. На северной части кроны их не видно. После срубки на таких деревьях насчитывается максимум 600 шишек;

4: шишки встречаются как на северной, так и на южной части кроны. На южной части кроны суки первого порядка имеют до 40 шишек, на северной – до 10. После срубки удается обнаружить до 1800 штук;

5: вся крона обильно усеяна шишками. После срубки их насчитывается до 3000.

Такие наблюдения необходимо повторять каждый год в конце августа, для чего будет требоваться не более одного дня на один профиль. Если урожайность будет выше среднего (4–5 баллов по шкале Каппера), то необходимо провести учет количества шишек, растущих в кронах, и занести в ведомость. Также с этих деревьев необходимо собрать по 20–40 шишек (у кедра – 20 шт., пихты – 30 шт., лиственницы – 40 шт.) при помощи садового секатора (для обрезки высоко расположенных ветвей), сложить в отдельный бумажный пакет и написать номер профиля, высотного уровня и дерева. На такие работы может потребоваться около одного дня на один высотный уровень. Периодичность высокоурожайных лет зависит от вида дерева, но у многих хвойных это 3–6 лет.

2.3.2. Наблюдения за появлением и выживанием проростков и всходов

Для проведения данных работ требуется ведомость, 2 -4) рулетки длиной 10 или 20 м, рамка 1х1 м с 20-сантиметровыми ячейками сетки.

На каждой микроплощадке с помощью сетки Раменского размером 1х1 м, разделенной на 25 клеток размером– 20х20 см), выполняется тщательный поиск проростков, всходов и подроста древесных растений высотой до 20 см. В ведомости (приложение III, форма №4) для каждого найденного экземпляра нужно отметить такие параметры, как вид, высота (см), жизненное состояние по 5-балльной шкале (здоровый – 5, здоровый механически поврежденный – 4 , угнетенный – 3, больной – 2, мертвый – 1), приуроченность к тому или иному типу напочвенного субстрата (моховому, лишайниковому, минерализованному, травяному) и типу нанорельефа (наноповышение – (+), ровный – (0), нанопонижение – (-). Также фиксируетсявозраст (определенный по годичным рубцам на стволиках), точное местоположение (в каком квадрате 20х20 см (наноплощадке) был обнаружен подрост (нумерация ячеек слева направо и сверху вниз).

Учет появившихся проростков и оценку выживания всходов и подро-

ста ниже 20 см необходимо проводить каждый год в середине – конце августа.

Работы желательно проводить вдвоем: один производит учет и описание подроста, другой ему помогает и записывает в ведомость данные. На учет всходов и подроста на одной микроплощадке в зависимости от опыта исследователя и общего количества подроста уходит около 10–20 минут.

2.4. Мониторинг изменений в напочвенном покрове

Для проведения данных работ требуется 2-4 рулетки длиной 10 или 20 м, рамка Раменского 1х1 м с 10-сантиметровыми ячейками сетки, фотоаппарат, мини-доска для указаний кода площадки при фотосъемке, мел для записей на доске.

Сначала в пределах каждой из восьми микроплощадок, заложенных в пределах каждой контрольной мезоплощадки (Б1, Б2), нужно определить, занося в специальную ведомость (приложение III, форма №5), следующее: процентное покрытие каждого встреченного вида сосудистых (кустарники, кустарнички и травы) и несосудистых растений (мхов и лишайников, по возможности) и среднюю высоту каждого из этих ярусов; относительную площадь камней, щебня, минерализованной почвы, подстилки. В случае невозможности идентификации видовой принадлежности того или иного растения в полевых условиях необходимо гербаризировать его для последующего определения в камеральных условиях, а в ведомости записать его родовое или семейственное название с номером (например, мятлик №1).

На этих же микроплощадках необходимо также произвести фотосъемку растительности вместе с рамкой и табличкой, на которой должен быть написан код снимаемой микроплощадки. На съемку всех микроплощадок требуется 15–20 минут.

После необходимо в пределах каждой отдельной мезоплощадки (А1 и А2; Б1 и Б2) определить, занося в специальную ведомость (приложение III, форма №6), следующее: процентное проективное покрытие и среднюю высоту каждого яруса и каждого встреченного вида растений (кустарники, кустарнички и травы, мхи, лишайники); относительную площадь камней, минерализованной почвы, подстилки.

Сумма проективных покрытий отдельных видов из-за их перекрывания друг другом (как на микро-, так и на мезоплощадках) не обязательно должна быть равна 100%, а может быть и больше, но общее покрытие яруса или всей растительности и напочвенных категорий не может превышать 100%.

Работы желательно проводить вдвоем: один производит описание площадки, а другой записывает в ведомость данные. На описание одной мезоплощадки в зависимости от опыта исследователя и сложности видо-

вого состава растительности уходит около 20–30 минут, а одной микроплощадки – 10–20 минут.

Повторные описания желательно проводить каждые пять лет в одно и то же фенологическое время.

2.5. Наблюдение за процессами роста и формообразования древесных видов

Для проведения работ по изучению роста и формообразования требуется буссоль с точностью до 0,5 градуса, рулетка длиной 50 м, складная удочка высотой до 7 м (в случаях, если высота древостоев выше 7 м, – удлиненная дополнительным шестом снизу), электронный высотомер, возрастной бур, бланки с формами таблиц, бумажные контейнеры для хранения буровых образцов, карандаш, бумажные кульки, клей ПВА (100–150 г) и газеты или писчая бумага для изготовления бумажных контейнеров, ножницы канцелярские (1 шт.).

2.5.1. Изучение процессов роста деревьев

Сбор буровых образцов древесины для дендроклиматических исследований рекомендуется проводить в средней или нижней части одного из профилей, где в прошлом проходила верхняя граница редин и редколесий (криволесий, парковых лесов) и где произрастают как старые (более 100 лет), так и молодые (от 20 до 100 лет) деревья. В первую очередь необходимо взять образцы с мезоплощадок А1 и А2. Если на этих площадках нужного количества деревьев не окажется, то можно взять буровые образцы с деревьев, растущих вблизи площадок не далее 50 м от базового столба в тех же условиях мест произрастания. Для того, чтобы можно было провести сравнительные исследования вдоль широтного и долготного градиентов, необходимо в каждом районе брать образцы с одних и тех же (лучше всего лиственницы) или близких видов хвойных деревьев (менее предпочтителен кедр).

В каждом районе для каждого вида необходимо взять образцы с 15 старых и 15 молодых деревьев. С каждого дерева необходимо взять на высоте 1,3 м как минимум по два буровых образца по направлениям не менее 90^{o} друг к другу и строго перпендикулярно оси ствола. Для соблюдения перпендикулярности оси ствола необходимо, чтобы другой коллектор корректировал наклон бура по отношению к оси ствола во время ввода бура в дерево, находясь сбоку в 2–3 м от дерева. Желательно, чтобы хотя бы один по одному радиусу образец проходил через центр дерева (сердцевину). Не допускается просверливание дерева насквозь (только до сердцевины!), так как в этом случае трудно соблюсти перпендикулярность образца к оси дерева с противоположной стороны ствола. Для

проведения анализа пригодна лишь здоровая древесина, не содержащая сучков, гнилей, признаков креня и других повреждений. Лучше, чтобы образцы были цельными, а не состоящими из отдельных кусочков. Для предотвращения скручивания кернов во время высверливания необходимо использовать новый или остро заточенный бур.

После высверливания керн осторожно извлекается из бура при помощи экстрактора и помещается в специально изготовленный бумажный контейнер, внутренний диаметр которого на 1–2 мм больше диаметра керна. Для предотвращения появления плесени бумажные контейнеры с кернами нужно высушить до воздушносухого состояния, упаковать в один бумажный пакет, а после этого поместить все контейнеры в крепкую тару (тубус, коробку, ящик), чтобы образцы при транспортировке не поломались.

На внешней стороне каждого контейнера требуется написать номер дерева и радиуса, его местоположение (код макроплощадки и порядковый номер дерева или расстояние от центрального столба ближайшей макроплощадки). На бумажном пакете надо написать **«Буровые образцы на рост»** и указать район исследований, географические координаты, высоту н.у.м., вид дерева, код профиля, дату взятия образцов и фамилию коллектора.

Повторное бурение для изучения роста можно проводить через 10 лет – для того, чтобы продлить имеющиеся хронологии по ширине годичных колец и оценить, как изменились (улучшились или ухудшились) за это время условия роста деревьев.

2.5.2. Наблюдение за процессами формообразования древесных видов

Выбор модельных деревьев для изучения морфогенеза древесных видов осуществляется в пределах и в непосредственной близости от макроплощадок заложенного высотного профиля. На каждом высотном уровне должны быть выделены и описаны все встречаемые здесь основные жизненные формы деревьев (например, ковровидная, стланиковая, многоствольная, стволовая).

Деревья, используемые для изучения особенностей хода роста стволов и побегов, должны выбираться разного возраста, неугнетенные, без внешних механических повреждений. Выбранное дерево фотографируется, ему присваивается номер, указывается местоположение относительно ближайшей макроплощадки (расстояние от центрального столба и азимут). Жизненность растений определяется визуально.

Модельные деревья должны быть разделены на группы по жизненным формам. Каждая группа делится на подгруппы по характерному размеру стволов (от минимального диаметра ствола на высоте груди, представленного на площадках на данном высотном уровне, до максимально-

го, с ходом диаметра в 2 см) и должна быть представлена минимум тремя деревьями (желательно пятью – семью). У каждого модельного дерева определяются основные морфометрические характеристики (см. приложение III, форма №7). У многоствольных деревьев необходимо измерять каждый стволик. Также необходимо сделать схематическую зарисовку системы ветвления.

Для определения времени появления у стланиковых особей берутся буровые образцы в основании стержневого корня и у гипокотиля. Экспертной оценкой определяются узлы укоренения погруженных в мохово-лишайниковый покров ветвей второго порядка, где также необходимо взять образцы.

У одноствольных и многоствольных деревьев необходимо брать буровые образцы в основании ствола. Кроме этого, берутся спилы в характерных местах стволов и ветвей (начало и конец комля, всевозможные изгибы, места укоренения ветвей), отражающих переход одной жизненной формы в другую.

Для многоствольных форм роста, кроме того, необходимо взять по 3 поперечных спила у стволов, изменивших форму роста с горизонтального на вертикальную, – для последующего определения даты начала формирования стволика и скорости линейного роста различных частей ствола (рис. 3).

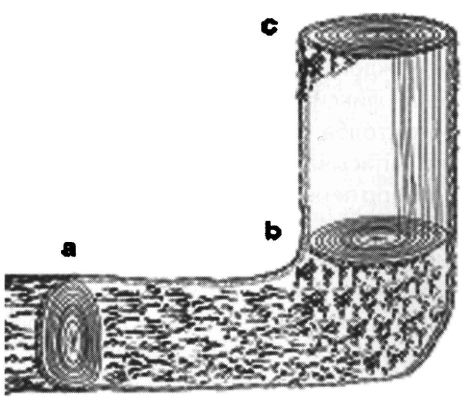


Рисунок 3. Места взятия буровых кернов для определения даты формирования горизонтального и вертикального стволов и скорости линейного роста (a – основание горизонтального стволика; b – основание вертикального стволика; c – высота на стволе, равная расстоянию ab (ab = bc)

Для определения скорости линейного роста у всех модельных деревьев необходимо взять буровые образцы через каждый метр высоты ствола (у стлаников и деревьев высотой меньше двух метров – через каждые 25–50 см).

Все образцы необходимо высушить в затененном, хорошо проветриваемом месте, непосредственно в полевых условиях.

2.6. Наблюдения за изменениями микроклимата и условиями местообитаний

2.6.1. Изучение температурного режима на пробных площадях

Для изучения температурного режима воздуха и почвы желательно на каждом профиле и каждом высотном уровне вблизи базового столба заложить по 2–4 регистратора температуры. Несколько регистраторов (на верхнем уровне желательно по 3–5, а на тундровом среднем и нижнем – по 1–3. Это связано с более высокой гетерогенностью в снегонакоплении и большими различиями в температуре почв на верхнем уровне по сравнению с остальными) вместе с привязанной веревкой длиной 10–15 см нужно закопать на глубину 10 см в разных направлениях от базового столба на открытых участках площадью не менее 20 м^2 (в окнах между деревьями). Места закладки надо обозначить небольшим колышком с обмотанным цветной изолентой верхним концом (изолента может быть синей, желтой, красной). По одному регистратору необходимо прикрепить на веревке длиной 5–10 см к крупной ветке дерева вблизи ствола с северной стороны на высоте 2 метра (если максимальная фоновая мощность снега в районе более 2 м, то прикрепить так, чтобы зимой регистратор не был покрыт снегом). Прибор нужно прикрыть от прямых солнечных лучей (лучше всего специально приготовленным кожухом из белой непрозрачной пластиковой бутылки без дна и с дырками для вентиляции. А если места людные, то можно использовать, чтобы не привлекать внимания, сухую траву, хвойные ветки и т.п.; но укрывать не очень плотно, чтобы была вентиляция). Местоположение каждого регистратора – установленного как в почве, так и в кроне дерева – фиксируется посредством указания расстояния и азимута от базового столба. Вместе с его заводским номером, датой и часом установки они записываются в специальную ведомость (приложение III, форма №8). Прибор перед установкой должен быть настроен на периодичность в 1 или 3 часа, чтобы можно было сравнивать с показаниями метеостанций региона. Установку желательно производить не позже августа первого года наблюдений. В конце августа следующего года (а если позволяет буфер памяти регистратора, то через 2–3 года) необходимо провести замену на новый и записать дату замены в ведомость.

Для изучения влияния мощности снежного покрова на термический режим почв необходимо в момент проведения снегомерных работ (см. ниже) производить по 10 измерений глубины снега вокруг (в радиусе 0,5 м) мест закладки почвенныхрегистраторов температуры.

2.6.2. Изучение мощности снежного покрова на пробных площадях

Измерения мощности снежного покрова желательно проводить ежегодно в конце зимнего периода (в марте) на каждой макроплощадке на

всех профилях. Сначала необходимо при помощи GPS-приемника найти место расположения центрального столба макроплощадки. Далее – если фоновая глубина снега не выше 170 см – провести по каждой центральной линии (вертикальной и горизонтальной), разделяющей мезоплощадки, по 30–50 измерений глубины снега (в среднем через 20–40 см), используя металлический шест диаметром около 2 см (можно использовать соединенные вместе две старые лыжные палки). Измерения желательно вести втроем. Два участника, разойдясь влево и вверх до краев макроплощадки, проводят промеры, двигаясь через центр до другого края. Третий ведет запись данных в специальную ведомость (приложение III, форма №9). Если фоновая глубина снега выше 170 см, то надо, используя машинные, аэрозольные краски (желательно белые), провести покраску каждого ствола дерева (у многоствольников можно каждого второго-третьего) на уровне снега. В летний период нужно при помощи градуированной рейки или удочки измерить высоту расположения сделанных зимой меток и занести данные в ту же ведомость. Для устранения путаницы при последующих подобных измерениях метки после измерений необходимо соскабливать ножом.

2.7. Повторное ландшафтное фотографирование

Качественную и количественную оценку пространственно-временных изменений в составе, структуре и распределении лесотундровых, лесных и кустарниковых сообществ, произрастающих в ЭВГДР, можно производить при помощи метода сравнения изображений (дешифрирования) на исторических и современных ландшафтных фотографиях, сделанных с одних и тех же точек на местности.

1. Необходимым условием проведения такой работы является наличие исторических ландшафтных фотоснимков, сделанных 30–150 лет назад, которые сохранились до настоящего времени в личных коллекциях и архивах или опубликованы в статьях, книгах и фотоальбомах. Чем старее снимок, тем большую ценность он представляет. Кроме того, необходимо знать место и время съемки. К сожалению, старые негативы и позитивные отпечатки, полученные научными работниками, туристами, журналистами и любителями природы, не всегда хранятся надлежащим образом. После ухода авторов из жизни большую трудность представляет восстановление места и особенно времени съемки. При отсутствии таких данных фотоснимок малопригоден для пространственно-временной оценки изменений в растительности и ландшафте. При наличии большого количества старых снимков (что редко бывает) необходимо отбирать снимки, содержащие наиболее типичные случаи изменения состава, структуры и пространственного положения лесотундровых сообществ ЭВГДР.

Современные технические средства позволяют быстро и качественно отсканировать фотоизображение, а также устранить многие имеющиеся дефекты (царапины, пятна, потемнения, осветления, пожелтения, потерю резкости и др.). Сканирование исторических и современных пленочных негативов производится в профессиональной фотолаборатории с разрешением 1544x1100 пикселей (снимок размером 10x15 см имеет разрешение 260 dpi). Для устранения дефектов и улучшения качества изображений обычно пользуются программой Adobe Photoshop CS2. Поскольку большинство старых фотоснимков бывают сделаны на негативной черно-белой пленке, а современные снимки – на цветной негативной, то возникает проблема получения таких позитивных изображений, которые позволили бы произвести возможно более детальный сравнительный анализ изменений в составе, структуре и пространственном положении древесной и кустарниковой растительности. Лучше всего для этих целей подходят цветные изображения на обоих снимках. В связи с этим предлагается произвести тонирование черно-белых цифровых изображений в режиме RGB при помощи программы Adobe Photoshop.

2. Фотографирование желательно производить при помощи цифровой зеркальной камеры и объективом с фокусным расстоянием 50 мм. Для каждой точки определяются географические координаты с помощью GPS-приемников. Знание точных географических координат точек фотосъемки позволит в дальнейшем легко найти их местонахождение любому желающему, введя соответствующие данные в GPS-приемник.

В районе исследований, где преобладают открытые и многоплановые горные ландшафты, отыскать точку, с которой был сделан снимок, в большинстве случаев не представляет большой сложности. Поиск таких точек производится при помощи хорошо разработанного в топографии способа, который состоит в нахождении места пересечения двух и более линий, проходящих через хорошо заметные ориентиры на фотоснимке и местности. С помощью этого способа можно определить точку съемки с точностью до 10–15 м. Для достижения большей степени точности (до 1–2 м) определение производят на основе анализа взаимного расположения более или менее крупных объектов на переднем плане (форм нано- и микрорельефа, камней, деревьев и их отмерших остатков, кустарников). Если такие объекты отсутствуют, то нужно использовать совмещение границ кадра, который виден на фотоснимке и в рамке фотоаппарата, при приближении или удалении от объекта съемки. Большую помощь в определении местонахождения точки съемки оказывают крупномасштабные топокарты.

Фотосъемка проводится в дни с благоприятным солнечным освещением (безоблачное небо или легкая дымка). Ранним утром и вечером съемку производить нежелательно из-за наличия больших теней от деревьев

и от неровностей рельефа. Следует отметить, что, несмотря на иногда даже хорошее знание исследователями района проведения работ и наличие открытых ландшафтов, нахождение прежней точки съемки бывает довольно трудной работой. Обычно за световой день удается сделать не более 10–15 повторных фотоснимков, точки съемки которых были расположены на небольшом расстоянии друг от друга. Затруднения чаще всего возникают в результате закрытия вершин гор густыми облаками, что не позволяет выбрать хорошо заметные ориентиры на местности, а также в связи с увеличением густоты и высоты древостоев вблизи точки съемки, в результате чего задние планы ландшафта оказываются закрытыми для обзора. Также затруднения при съемке возникают и в дни с сильным развитием кучевой облачности, когда поверхность земли представляет собой «одеяло» из светлых и темных пятен. Иногда приходится подолгу ждать момента, когда интересующие объекты оказываются нормально освещенными. Положение солнца на горизонте также сильно влияет на качество изображения древесной растительности, поэтому иногда приходится делать повторные снимки в разное время дня.

Помимо съемки в течение вегетационного периода перспективным является также использование зимних фотоизображений для оценки изменений в древесном ярусе, поскольку стволы и кроны деревьев резко контрастируют с фоном – белым снегом.

3. Оценку качественных и количественных характеристик древесной и кустарниковой растительности производят на основе визуальной оценки и сопоставления видимых растительных объектов на разновременных позитивных фотоснимках, сделанных в одном и том же масштабе. К наиболее легко определяемым параметрам относятся видовой состав древостоя, высота деревьев и древостоев, диаметр стволов, густота и сомкнутость крон древесного яруса, возрастная структура древостоя, форма роста деревьев, жизненное состояние деревьев и древостоев, наличие сухостоя и валежа, высота и проективное покрытие полога крупных кустарников. На многих склонах удается определить величину вертикального и горизонтального смещения верхней границы распространения сомкнутых лесов, редколесий, редин и отдельных деревьев в тундре, переход одного типа лесотундрового сообщества в другой и изменение степени облесенности территории.

Специфика метода ландшафтных фотографий состоит в том, что по мере удаления от точки съемки количество оцениваемых параметров древесной растительности изменяется. Если лесотундровый фитоценоз находится на удалении до 100 м, то можно оценить все основные параметры конкретного древостоя, включая подрост. На расстоянии от 100 до 800–1000 м некоторые параметры древостоя (диаметр ствола, подрост,

плодоношение, наличие валежа) определить трудно или невозможно, но зато хорошо оцениваются верхние границы распространения различных типов лесотундровых сообществ и степень облесенности территории. На большем удалении с меньшей точностью определяются густота и проективное покрытие древесного и кустарникового ярусов, степень облесенности территории и пространственное положение лесотундровых сообществ. На участках склонов, удаленных на 3–4 км и более, оценка состояния древесной и кустарниковой растительности производится лишь в тех случаях, когда качество исторических фотоснимков удовлетворительно.

Конкретный фитоценоз относится к тому или иному фитоценотическому типу на основании густоты древостоя, которая оценивается через среднее расстояние между деревьями. К сомкнутому лесу относятся сообщества, в которых среднее расстояние между деревьями составляет менее 7–10 м, к редколесьям – от 7–10 до 20–30 м, к рединам – от 20–30 до 50–60 м, к тундре с одиночными деревьями – свыше 50–60 м. Наличие перекрытия в расстояниях между перечисленными выше типами сообществ обусловлено размерами деревьев. Если на участке произрастают крупные и старые деревья, то используются максимальные значения: 10, 30 и 60 м для сомкнутого леса, редколесья и редины соответственно (Шиятов и др., 2005).

Оценку изменения параметров кустарниковой и древесной растительности желательно производить непосредственно в точке съемки: сравнивать изображение на фотоснимке с ситуацией на местности. Этот способ позволяет более точно определять сравниваемые параметры древесной растительности, но требует значительно больших затрат времени. Однако при необходимости произвести повторное фотографирование с большого количества точек этого можно не делать; дешифрировать фотоснимки можно в камеральных условиях. Так как изображение одних и тех же объектов на местности может быть на разных фотоснимках, сделанных с разных точек и расстояний, то оценочные данные могут быть скорректированы и перепроверены неоднократно. При этом желательно использовать объекты, современное состояние которых уже было оценено.

2.8. Картирование текущего положения верхних пределов древостоев различной сомкнутости и фотодокументирование современной обстановки

Для наблюдения за динамикой древесной растительности на ландшафтном уровне желательно проведение тематического крупномасштабного картирования отдельных склонов или ключевых горных вершин в масштабе не ниже 1:100 000, желательно 1: 25 000 или 1:50 000. При этом желательно иметь аэрофотоснимки с нанесенными на них горизонталями

и топографическую карту. При картировании на аэрофотоснимке производится выделение границ однородных по растительности и почвенно-грунтовым условиям выделов. Для каждого выдела производятся глазомерные описания условий обитания и растительности, разработанные в лесной таксации и геоботанике. Все эти данные с номером выдела вносятся в специально разработанный бланк описания. Важно иметь при себе GPS-приемник, чтобы определять координаты отдельных точек на границах выдела.

Если аэрофотоснимки отсутствуют, то сплошное картирование производится при помощи топографической карты и GPS-приемника. Большую помощь оказывают маршрутные ходы с промерами измерительной лентой, в пределах которых отмечаются границы выделов.

Картирование и описание профилей следует начинать с границы отдельных деревьев или групп деревьев (редин). Для этого нужно определить место, где находится правый и левый верхний угол того выдела, в пределах которого заложены макроплощадки верхнего уровня одного из профилей. После чего включить GPS-приемник, зафиксировать в нем имя (1_001, где первое число обозначает высотный уровень: 0 – тундровый (граница отдельных деревьев в тундре); 1 – верхний (граница редин); 3 – средний (граница редколесий); 5 – нижний (граница сомкнутых лесов), а второе число – порядковый номер выдела (по опыту, их может быть 100–200) и координаты левой верхней точки. Не выключая приемника, нужно начать двигаться вправо по верхнему краю выдела, обходя его против часовой стрелки и занося в GPS-приемник трек движения. Дойдя до середины между левой и правой точками, нужно также зафиксировать имя (1_1с – то же, что и у первой точки, только литера «с» будет обозначать центр выдела («с» – от английского «center») и координаты точки и описать характеристики древостоев, произрастающих ниже, в 50–100-метровой полосе от края выдела, занося необходимую информацию в специальную ведомость (приложение III, форма №10), а именно:

• каменистость (покрытие в процентах поверхности выходами обломков горных пород (валунами, скальными обнажениями);

• экспозиция и уклон склона;

• увлажнение почв участка в баллах (1 – сухие; 2 – временно сухие; 3 – средние по увлажнению; 4 – временно переувлажненные; 5 – постоянно переувлажненные);

• состав (например, 6К3Л1П, где буквы обозначают вид (К – кедр, Л – лиственница, П – пихта), а цифры – покрытие крон этих видов (6–60%, 3–30%, 1–10% покрытия крон, чтобы в сумме было 10 (или 100%);

• общее покрытие кронами деревьев в процентах;

• средняя и максимальная высота древостоев (если виды различаются по высоте или если есть явно выраженные возрастные поколения одного вида, различающиеся по высоте, то нужно указать их средние размеры);

• состав подроста (древесные растения ниже 1,3–1,5 м) – по той же формуле, что используется для взрослых деревьев;

• общее проективное покрытие кустарникового покрова и видовое название основных трех-четырех доминантов (в порядке убывания их проективного покрытия);

• общее покрытие поверхности травянисто-кустарничкового покрова и видовое название основных трех-четырех доминантов (в порядке убывания их покрытия).

Дойдя до правого края выдела, также нужно зафиксировать в GPS имя (1_002) и координаты точки. Дальше – выполнять последовательность действий, описанных выше для каждого выявленного выдела на этом уровне. Основным критерием для выделения нового контура должно служить изменение состава древостоя на единицу и более или изменение сомкнутости крон не менее, чем на на 10%. Сопутствующими критериями могут служить изменения каменистости на 20% или увлажнения на 1 балл. Но чаще всего, являясь одними из основных причин дифференциации растительного покрова на одном высотном уровне, они изменяются с основными критериями синхронно.

После окончания картирования древостоев на верхнем уровне лучше перейти на тундровый (нулевой) уровень и провести работы на нем. Закончив работы на нулевом уровне, нужно провести аналогичные действия на среднем уровне.

Картирование и описание древостоев обозначенным выше методом на нижнем уровне без наличия современных аэро- или космоснимков бывает затруднено из-за перекрывания обзора высокими здесь кронами деревьев. Поэтому предварительно нужно провести дешифрирование аэро- или космоснимков, нанеся контуры выделов их поверхности, а после в полевых условиях попробовать обнаружить их верхние углы, зафиксировать их (имя и координаты) и провести описание древостоев.

Одновременно с картированием и описанием древостоев нужно проводить панорамную съемку (4–6 снимков) местности вниз по склону с фокусным расстоянием 50 мм и горизонтальным расположением цифровой фотокамеры, когда оптическая ось располагается параллельно поверхности земли. На тундровом уровне нужно делать полную круговую съемку. Перед началом – обнулить память и порядок кадров, а в ведомости описания выделов указывать номера кадров в фотоаппарате. Также желательно произвести панорамную ландшафтную фотосъемку мест расположения мониторинговых профилей с противоположных участков долин и склонов гор. Все сделанные снимки будут использованы в дальнейшем для оценки будущих изменений древесно-кустарниковой растительности в районе наблюдений.

Все зафиксированные точки на GPS-приемнике и фотографии с них нужно перенести в компьютер при помощи специальных программ, а описания – в специальную базу данных. Для картирования трех-четырех километров границ на одном высотном уровне одним человеком, как правило, требуется около одного дня. Повторение подобных исследований желательно провести через 20 лет.

3. КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА И ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА

3.1. Методика определения возраста деревьев

1. Перед началом определения количества колец на взятых в полевых условиях образцах древесины необходимо каждый буровой образец закрепить в деревянном держателе (рис. 4). В качестве держателей, как правило, используются деревянные брусочки в сечении 10 на 15 мм, на одной из сторон которых делается канавка шириной 3–4 мм и глубиной примерно 2 мм. Буровой образец приклеивается к держателю клеем ПВА, которым равномерно заполняют канавку. Чтобы образец плотно прилегал по всей длине к держателю, его временно вместе с держателем обматывают проволокой или узкой лентой скотча, которые после высыхания клея снимаются. Очень важно для правильного подсчета колец, как и для других дендрохронологических исследований, чтобы проводящие волокна древесины (ксилемы) были перпендикулярны верхней поверхности держателя. Также нужно крайне внимательно следить за тем, чтобы вся информация, записанная на этикетке или контейнере, где хранился керн, была перенесена на одну из поверхностей держателя (для удобства дальнейшей работы лучше, чтобы поверхности для записей совпадали для всех образцов).

2. Чтобы границы колец и клеток были отчетливо видны во время измерений в отраженном свете, проводится тщательная зачистка острым режущим инструментом (сначала канцелярским ножом – черновая зачистка, позже бритвой – чистовая) верхней части кернов, а у спилов – торцевых поверхностей, вдоль радиального направления с наибольшей шириной годичных колец. При этом обрабатываемую часть керна или спила необходимо предварительно смочить водой. На дисках обычно зачищается полоса шириной 1–2 см. Для повышения контрастности границ между отдельными клетками и годичными кольцами на зачищенной заранее поверхности производится втирание с помощью кусочка ваты в клеточные поры мелко размолотого порошка белого цвета – например, зубного (Шиятов и др., 2000).

3. У всех собранных образцов проводится предварительная датировка и маркировка годичных колец под бинокулярной лупой при 20–40-кратном увеличении. Подсчет годичных колец производится от периферии к центру, а маркировка – путем нанесения на поверхность определенных колец отметок при помощи карандаша или тонкой иглы. Одной точкой отмечается год окончания каждого календарного десятилетия (1990, 1980, 1970 и т.д.), двумя точками – пятидесятилетия (1950, 1850, 1750 и т.д.), а тремя – столетия (2000, 1900, 1800 и т.д.). При 20–40-кратном уве-

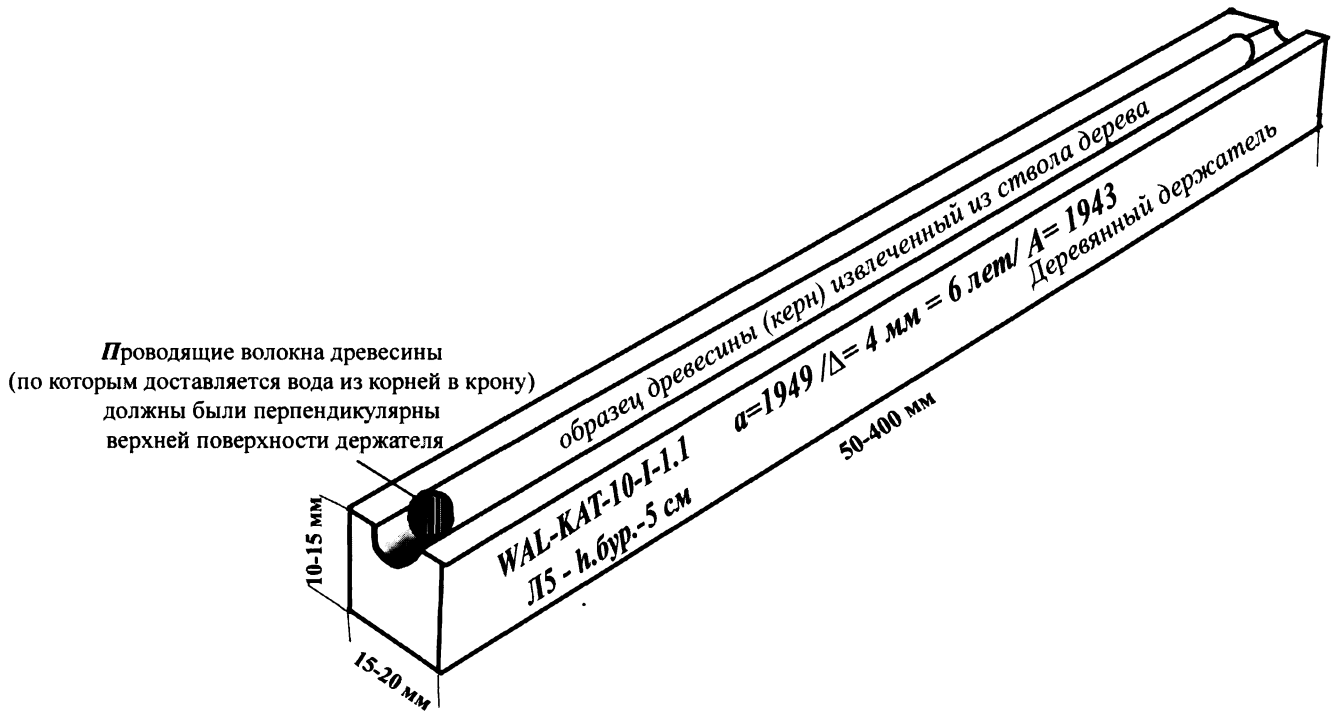


Рисунок 4. Схема держателя с керном с указанием кода площадки, номера дерева, высоты бурения, года образования центрального годичного кольца (А) и дополнительной информацией (а и Δ) (см. ниже)

личении можно выявить довольно тонкие кольца, содержащие всего 2–3 слоя клеток. Но так как в экстремальных условиях высокогорий в отдельные годы по отдельным радиусам прирост может вообще не наблюдаться и кольца как бы «выпадают», то нередко при простом подсчете и маркировке реальные годы формирования колец могут быть определены неправильно. Также у деревьев, которые были живы к моменту отбора образцов, самое крайнее периферийное кольцо, как правило, бывает неполным (без поздней древесины), так как образцы собираются в первой половине лета; а в некоторых случаях оно могло быть удалено вместе с участком коры и луба. Поэтому для достоверного определения даты формирования древесных колец используется ставший уже классическим в дендрохронологии метод перекрестной датировки, основанной на использовании уникального рисунка годичных колец древесины: поскольку лимитирующие факторы действуют на ростовые процессы отдельных деревьев, произрастающих в одном местообитании или районе, относительно одинаково, то ход кривых индивидуальных древесно-кольцевых серий, как правило, бывает достаточно синхронным. Это означает, что если в отдельный год были неблагоприятные погодные условия, то у всех деревьев, произрастающих в одной местности, годичное кольцо будет узким, а если условия были относительно благоприятными, то и радиальный прирост будет большим (Шиятов, 1986).

Метод перекрестной датировки позволяет производить относительную и абсолютную датировку времени формирования годичных слоев древесины. Относительная датировка заключается в определении пар колец у сравниваемых образцов, которые сформировались в один и тот же год. При этом дата формирования еще не известна. Абсолютная датировка включает в себя точное определение даты всех годичных колец у исследуемых образцов. Она может быть осуществлена только в том случае, если известна дата взятия образца древесины хотя бы у одного живого дерева, кольцевая хронология которого перекрестно датируется с кольцевыми хронологиями других деревьев.

Поскольку сравнивать рисунки колец для целей их датировки на самих образцах затруднительно из-за неодинаковой ширины годичных колец, то извлекаемую из колец информацию удобнее фиксировать и анализировать на бумаге в виде графиков или на мониторе компьютера, используя специально разработанные программы. При этом по оси абсцисс откладывается календарное время в годах, а по оси ординат – величина годичного прироста.

В настоящее время для измерения количественных характеристик годичных слоев древесины широко используются специально сконструированные полуавтоматические комплексы, которые состоят из биноку-

лярного микроскопа, двигающегося столика, приспособления, преобразующего электронный сигнал в цифровой, прерывателя сигнала и компьютера со специальным программным обеспечением. Чаще всего используется полуавтоматическая измерительная установка LINTAB-III с программным обеспечением TSAP-3.0.

Если в керне содержится центровое кольцо, то время появления этого дерева можно определить более точно, прибавляя количество лет, которое необходимо для достижения им высоты, на которой взят образец древесины. В случае отсутствия центрового кольца время его формирования с меньшей точностью можно определить следующим образом. Сначала определяется радиус дуги, образуемой самым ранним (ближним к центру) годичным кольцом. После этого производится сравнение его с линиями окружностей разного размера, нанесенными на прозрачную пленку. Затем подсчитывается количество годичных колец на самом раннем участке керна, равном вычисленному радиусу, и прибавляется к количеству выявленных и датированных годичных колец на образце. Год образования самого раннего кольца керна (обычно обозначается как «а»: например, **а = 1949**) записывается на одну из сторон керна; лучше, чтобы они совпадали для всех образцов. Информация о расстоянии до центра керна (радиус дуги, образуемой самым ближним к центру годичным кольцом) и количестве недостающих лет до центра записывается как **Δ = 4 мм = 6 лет**, а для образцов с центральным кольцом – как **Δ = 0 = 0.** После вычисляется календарный год образования центрального годичного кольца на высоте бурения путем вычитания количества недостающих лет от года образования самого раннего кольца керна и записывается как «А». Полная запись при определении года образования центрального годичного кольца дерева на высоте бурения выглядит так: **а = 1949 / Δ = 4 мм = 6 лет / А = 1943**.

Год появления подроста выше 0,2 см и диаметром меньше 3 см определяется на спилах, взятых на уровне корневой шейки (0 см). В этом случае точность определения года его появления высокая (1–2 года). Используя данные о возрасте такого подроста и высоту его стволиков, можно рассчитать уравнение регрессии между этими показателями и использовать для вычисления длительности роста каждого пробуренного дерева до высоты взятия бурового образца. Отняв полученное таким образом количество лет от года образования центрального годичного кольца на высоте взятия бурового образца, можно вычислить год появления каждого пробуренного дерева. Например, если дерево росло до 10 см (высоты взятия образца) 6 лет, а центральное кольцо образовалось на этой высоте в 1933 году, то год появления дерева – 1927-й.

3.2. Анализ морфометрических параметров деревьев и истории формирования древостоев

Все показатели отдельных стволов и деревьев на описанных мониторинговых площадках заносятся в электронную таблицу в программе Excel по такой же форме, как в полевых ведомостях (приложение III, форма №2). В созданную таблицу после столбца с указанием высоты стволов вставляются пять дополнительных столбцов для внесения данных: 1) о календарном годе образования центрального кольца у пробуренных деревьев и спиленного подроста; 2) о высоте взятия образца (если это подрост и он был спилен, то пишется 0 см); 3) о рассчитанном количестве лет, за которое дерево достигло высоты взятия образа; 4) о календарном годе появления дерева; 5) о возрасте.

Из литературы хорошо известно, что почти все древесные виды умеренного пояса обильно плодоносят через определенные интервалы времени (например, ель и лиственница – через 3–6 лет). Поэтому формирование микропоколений происходит лишь после урожайных лет, а особи, появившиеся в интервале между ними, не участвуют в сложении древостоев: большая часть их погибает, не достигнув генеративного возраста (Кошкина и др., 2008). Из-за вероятных ошибок в определении возраста у деревьев с эксцентричной формой роста ствола и существования различий во времени достижения подростом высоты отбора образцов (5–25 см) вычисленный возраст можно считать определенным с точностью ±1–3 года. Поэтому, узнав из литературных источников точные даты урожайных лет, можно объединить количество деревьев, появившихся после урожайного года, в пятилетние возрастные группы (например, после 1962-го – появившиеся в 1961–1965-м, после 1967-го – появившиеся в 1966–1970-м). Если не известны даже даты урожайных лет, лучше объединять количество деревьев в такие же возрастные интервалы, так как обильные урожаи у хвойных, как правило, приурочены к одному году в первом и втором пятилетии каждого календарного десятилетия.

Отдельно следует поговорить о деревьях и подросте, находящихся на верхней границе леса. Древесные растения здесь встречаются в различных жизненных формах. В жестких условиях высокогорий лиственница, кедр и пихта принимают форму стланика, способного занимать довольно значительную площадь, но по высоте существенно не превышающего травяно-кустарничковый покров. Нередко такой стланик бывает ниже средней высоты снежного покрова. Береза в неблагоприятной обстановке растет в виде куста, а кедр – низкорослым, ветвящимся почти с основания деревцем. При улучшении условий стланик начинает давать вертикальные стволы, которые впоследствии укореняются. В результате этого образуется так называемая многоствольная форма (куртина) – тесная группа

стволов вегетативного происхождения, произошедших от одной материнской особи. У березы данная форма развивается из кустообразной и представляет собой группу стволов, растущих из одного места, – как это бывает в обычных березовых насаждениях вегетативного происхождения. В ином случае эта порода может образовать многоствольное дерево из прикорневой поросли, появляющейся после гибели первичного ствола. Также характерно для березы образование вегетативной поросли возле основания взрослого дерева. Кедр, как правило, куртин не образует: из угнетенного деревца вырастает сильноветвистое дерево, у которого часть ветвей растет вертикально. Одноствольная форма – это обычно дерево семенного происхождения с одним явно выраженным стволом, произрастающее в относительно благоприятных локальных условиях мест произрастаний.

При изучении (согласно общепринятым в лесной науке понятиям и представлениям) древостоев в пределах ЭВГДР перед исследователем встает проблема разграничения подроста и древостоя. Какие деревья относить к древостою и какие – к подросту?

Лесоустроительная инструкция (1995 г.) предписывает считать деревья ниже четырех метров подростом. Однако на верхнем уровне произрастания (верхняя граница распространения отдельных куртин деревьев) многие деревья не достигают данной высоты, хотя имеют значительный возраст. В связи с этим данный подход при исследовании верхней границы древесной растительности неприменим.

Согласно другому определению под подростом понимается «молодое поколение древесных растений под пологом древостоев, на вырубках и гарях способное сформировать древостой. Высота подроста не более 1/4 высоты древостоя». Однако в условиях верхнего и среднего уровня невозможно определить высоту древостоя, не выделив подрост, так как между ними нет резкого разрыва по высоте и диаметру, как это бывает в обычных сомкнутых лесах.

Для исключения данной проблемы было решено определиться с минимальной высотой дерева, которое можно включить в состав древостоя. По-видимому, подобная особь должна возвышаться над травостоем, хотя бы частично выходить из защиты снежного покрова; у нее можно было бы измерить диаметр на высоте 1,3 м – очень важный показатель. Травостой в пределах ЭВГДР редко достигает метровой высоты, глубина снега в данной местности колеблется от 0,3 до 2,0 м, поэтому – с большой долей условности – в целях настоящего исследования предлагается считать высоту 1,5 м рубежом между подростом и древостоем. Следует отметить, что подрост и древостой при выбранном подходе – понятия в значительной степени условные. Так, на верхнем уровне полноценного древостоя как такового нет, а есть лишь отдельно стоящие куртины. В состав подро-

ста входят такие разнокачественные группы, как не достигшие высоты 1,5 м молодые деревца семенного происхождения, стволики куртин, стланика, прикорневая поросль березы.

Исходя из вышеописанного перед началом анализа морфометрических параметров деревьев необходимо при помощи процедуры сортировки в программе Excel разделить описания многоствольных и одноствольных древесных растений, а из последних выделить группу высотой ниже 1,5 м (относящуюся к подросту). После этого можно приступить к статистической обработке параметров данных групп по отдельности. Полученные значения средних и стандартных отклонений диаметра ствола у основания и на высоте 1,3 м, высоты ствола, возраста, диаметра проекции кроны на каждом высотном уровне каждого профиля необходимо объединить в сводной таблице для сравнения их между собой и с данными последующих наблюдений.

3.3. Анализ процессов возобновления древесных видов

В лабораторных условиях заготовленные образцы необходимо высушить при температуре 25–30°С. После досушивания шишек из-под семенных чешуй извлекаются семена; это удобно делать вязальными спицами подходящего размера. Затем определяются параметры каждой шишки, а именно длина, ширина (в раскрытом состоянии), вес. Количество и вес семян в каждой шишке определялось в том случае, если каждая шишка была упакована отдельно. В противном случае определяется среднее количество семян в каждой шишке путем деления общего числа семян на число шишек, собранных с одного дерева.

Качество семян лиственницы сибирской определяется путем проращивания в соответствии с ГОСТ 13056.6-68. Семена для проращивания помещают в чашки Петри – по 100 шт. в каждую. Ложем семенам служат тканевые фильтры, смоченные дистиллированной водой. Повторность опыта для каждой партии семян трех-четырехкратная. Семена лиственницы проращивают в течение 15 дней при постоянной температуре 25°С в термостате, без освещения. По полученным данным вычисляются следующие показатели: всхожесть (количество нормально проросших семян за определенный срок и при определенных условиях проращивания); энергия прорастания (число семян, проросших за определенный срок; 7 дней для лиственницы сибирской).

Все данные о семенных деревьях, их ежегодной урожайности и количестве шишек на них в семенные годы, а также данные учета всходов и подроста заносятся в электронную таблицу в программе Excel по таким же формам, как в полевых ведомостях (приложение III, форма №3 и 4). Данные о средней величине шишек, количестве и качестве семян в них зано-

сятся в ячейки, дополнительно созданные после тех столбцов, где указывается количество шишек на дереве в тот или иной урожайный год. Как правило, существуют достаточно устойчивые корреляционные связи между параметрами урожайности и величиной (диаметром и высотой стволов), а также возрастом деревьев. Поэтому при выявлении данных корреляций возможен расчет количества шишек и семян на единицу площади ($м^2$ или га) посредством использования данных, полученных при описании мониторинговых площадей (например, диаметров стволов).

3.4. Анализ пространственных изменений в напочвенном покрове

Все описания растительности на мезо- и микроплощадках заносятся в электронную таблицу в программе Excel по такой же форме, как это было сделано в полевых ведомостях (приложение III, форма №5 и 6). Полученные данные на мезоплощадках одного высотного уровня можно статистически обработать вместе и свести в одну таблицу – для сравнения особенностей пространственной и видовой структуры (соотношения количества видов растений и их проективного покрытия) растительных сообществ, произрастающих на разных высотных уровнях одного или различных профилей. При последующих обследованиях (через 5 лет) новую информацию необходимо занести в дополнительно созданные столбцы в базе и провести анализ изменений по методике, предлагаемой в рамках программы GLORIA (http://www.gloria.ac.at/?a=5).

3.5. Анализ процессов роста и формообразования древесных видов

Для получения информации по древесным кольцам собранные спилы необходимо зачистить лезвием бритвы так, чтобы были четко видны границы годичных слоев прироста. Керны надо наклеить на специальную деревянную основу; затем их поверхность тщательно зачищается бритвой. Для увеличения контрастности колец в зачищенную поверхность спила и керна втирается зубной порошок. После этого образцы необходимо просмотреть с помощью бинокулярного микроскопа МБС-10. Ширина годичных колец должна быть измерена при помощи полуавтоматических измерительных комплексов с точностью до 0,01 мм. Используя полученные в программе TSAP (Rinn, 1996) графики прироста, с помощью метода перекрестной датировки можно определить даты формирования годичных слоев деревьев.

В связи с тем, что в рядах изменчивости абсолютных величин прироста деревьев содержатся самые различные неклиматические сигналы (о возрастных изменениях, влиянии почвенно-грунтовых условий, конкурентных взаимоотношениях, катастрофах и др.), в дендроклиматологии разработана специальная методика, позволяющая исключать или, по крайней

мере, сильно уменьшать их влияние. Процедура стандартизации и индексирования, которая переводит абсолютные величины прироста в относительные, дает возможность сопоставлять изменчивость прироста у хронологий, полученных для различных видов деревьев, условий местообитания и районов. Кроме исключения возрастного тренда, стандартизация преобразует временные ряды радиального прироста во временные ряды безразмерных величин (индексов) со средним 1,0 и постоянной дисперсией. Для стандартизации рекомендуется использование программы ARSTAN.

В результате будут построены обобщенные ряды по совокупности деревьев одной жизненной формы. Обобщенный ряд индексов прироста для каждой жизненной формы дерева будет получен осреднением индивидуальных хронологий. Для построения обобщенных рядов по различным жизненным формам должно быть использовано не менее 20 моделей.

Определение линейного прироста производится следующим образом. Из числа слоев на верхнем торце метровой секции вычитается количество слоев на нижележащем спиле. К полученной разнице прибавляют 1. Данное значение показывает, за сколько лет дерево приросло на 1 м. Соответственно, для определения годичного линейного прироста нужно 100 см (1 м = 100 см) разделить на полученное значение.

3.6. Анализ изменений микроклимата и условий мест произрастаний

Информация о температурах воздуха и почв с регистраторов сгружается при помощи базовой станции и специальной программы (каждый производитель устройств прилагает в комплекте поставки свою собственную) на компьютер. Она статистически обрабатывается; рассчитываются средние значения и другие параметры для отдельных месяцев года, длительность безморозного (с температурами выше 0°С), бесснежного и вегетационного периодов в тот или иной год. Наиболее важными из них являются температуры (как воздуха, так и почвы) месяцев начала вегетационного сезона (май, июнь), а также средние температуры зимних месяцев (ноября – марта). Данные о них заносятся в сводные таблицы и сравниваются между собой; производится поиск статистических связей с изменениями других изучаемых характеристик растительности и условий местообитаний (например, мощностью снежного покрова, высотой н.у.м., экспозицией склона).

Все записи, сделанные во время снегомерных работ, заносятся в электронную таблицу в программе Excel по такой же форме, как в полевых ведомостях (приложение III, форма №9). После вычисляются средние значения и другие статистические характеристики для каждой отдельной макроплощадки. Все данные можно свести в таблицу, где требуется указать

код макроплощадки, ее высоту н.у.м., проективное покрытие деревьев отдельных видов, среднюю мощность снежного покрова, и провести поиск корреляционных связей между мощностью снежного покрова и другими показателями.

3.7. Анализ изображений на повторных фотографиях

В лабораторных условиях старые и современные фотоснимки сканируются и анализируются при помощи специальных компьютерных программ (например, Photoshop). Для этого отсканированные изображения накладываются одно на другое в разных слоях; путем различных трансформаций совмещаются основные очертания постоянных объектов (больших камней, скал, гребней и т.д.). Изменяя прозрачность изображения на одном из слоев, можно сравнить произошедшие изменения (см. пример анализа на рис. 5) и нанести контуры прежней границы сомкнутых лесов (сплошной линией) и редколесий (пунктирной) на современном фотоснимке. Далее эти линии можно перенести на топографическую основу, определить их среднее высотное положение и оценить средние величины смещения высотных пределов сомкнутых лесов и редколесий.

На первом плане находится небольшая горизонтальная площадка с каменным останцом, на втором – межгорная седловина между Большим и Малым Иремелем и северная оконечность Залавка, на третьем – юго-западный склон Малого Иремеля. Безлесье площадки около останца обусловлено действием сильных западных ветров; она расположена на высоте 1285 м. Наиболее сильно изменился растительный покров на пологой межгорной седловине. Раньше здесь было большое количество луговых полян; еловые леса занимали не более 50% территории. В настоящее время почти все луговые поляны заросли густым еловым или березовым лесом с сомкнутостью местами до 90%. Значительно увеличилась облесенность пологого юго-западного склона Малого Иремеля, где хорошо заметен подъем верхней границы мелколесий и сомкнутых лесов на 60–80 м по высоте и 600–900 м по склону. При этом сомкнутость бывших мелколесий увеличилась с 20 до 60–70%, а у сомкнутых лесных сообществ – с 50 до 80–90%. На южном каменистом склоне Малого Иремеля также хорошо заметно передвижение границ лесных сообществ на 20–40 м по высоте и 100–300 м по склону.

Автоматизированные методы анализа изображений ландшафтных фотографий находятся в начальной стадии разработки, поэтому применение их пока невозможно.

Многие параметры древесной растительности не фиксируются на аэро- и космоснимках. Поэтому анализ изображений на разновременных ландшафтных фотоснимках дает ценную дополнительную информацию о динамике дре-

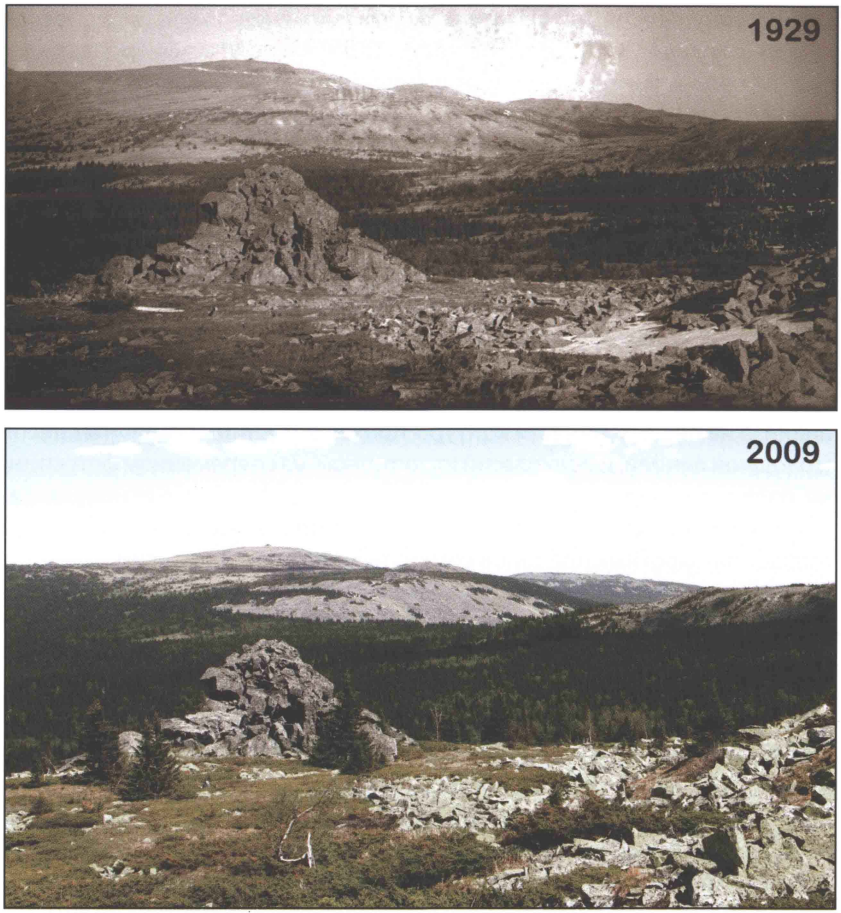


Рисунок 5. Вид с небольшого возвышения (1335 м н.у.м.), расположенного на северном склоне Бол. Иремеля

весной и кустарниковой растительности на верхнем пределе ее произрастания, основанную на использовании прямых методов наблюдений.

3.8. Картирование текущего положения и оценка смещений верхних пределов древостоев различной сомкнутости

На основе координат точек и треков движения по границам выделов, занесенных в GPS-приемник в полевых условиях и перенесенных на компьютер при помощи специальных устройств и программ (для выпускаемых фирмой Garmin это MapSource), контуров выделов, отмеченных на

топографических картах и аэро- или космоснимках, а также цифровой модели рельефа (ЦМР) района исследований в географической информационной системе ARC/INFO создается цифровая картосхема, характеризующая точное географическое положение границ, описанных выделов древесной растительности.

Все записи, сделанные во время полевых работ, переносятся в электронную таблицу в программе Excel по такой же форме, как это сделано в полевых ведомостях (приложение III, форма №10). В последующем таким образом созданная база данных, характеризующая растительность и условия местообитаний на выделах, «привязывается» к созданной ранее цифровой картосхеме в программном комплексе ARC/INFO, тем самым насыщая ее атрибутивной информацией.

Оценка величины горизонтального и вертикального смещения верхних пределов древостоев различной сомкнутости в период между первичным и повторным картированием может быть осуществлена в программном комплексе ARC/INFO с использованием специально разработанного В.В. Фоминым и соавторами алгоритма (Капралов и др., 2006). Он состоит из следующих этапов (рис. 6):

1) создание в ГИС ARC/INFO двух векторных покрытий (рис. 6, А), характеризующих положение границ в начале (нижняя линия) и конце (верхняя линия) исследуемого временного интервала;

2) отложение от линии, характеризующей положение границы в начале исследуемого периода, буферных областей в виде полигональных покрытий. Границы этих областей удалены от исходной линии на одинаковое расстояние, которое кратно размеру ячейки ЦМР района исследований;

3) растеризация полигональных покрытий в формат GRID, в результате которой получается суммарный слой, содержащий буферные области, последовательно сменяющие друг друга (рис. 6, Б);

4) наложение растеризованного покрытия границы в конце периода на растр с буферными областями. Таким образом, каждой ячейке границы леса (мелколесий) в конце периода соответствует ячейка буферного слоя, содержащая величину смещения от границы леса в начале периода (рис. 6, В);

5) построение гистограмм распределения горизонтального смещения лесорастительных рубежей для каждого из районов исследований (рис. 6, Г). Статистики распределения были использованы для количественной оценки величин сдвигов.

Реализация алгоритма может быть осуществлена в ГИС ARC/INFO с использованием языка программирования AML, а статистическую обработку и анализ данных можно проводить в статистическом пакете «R» (R Core Team www.r-project.org).

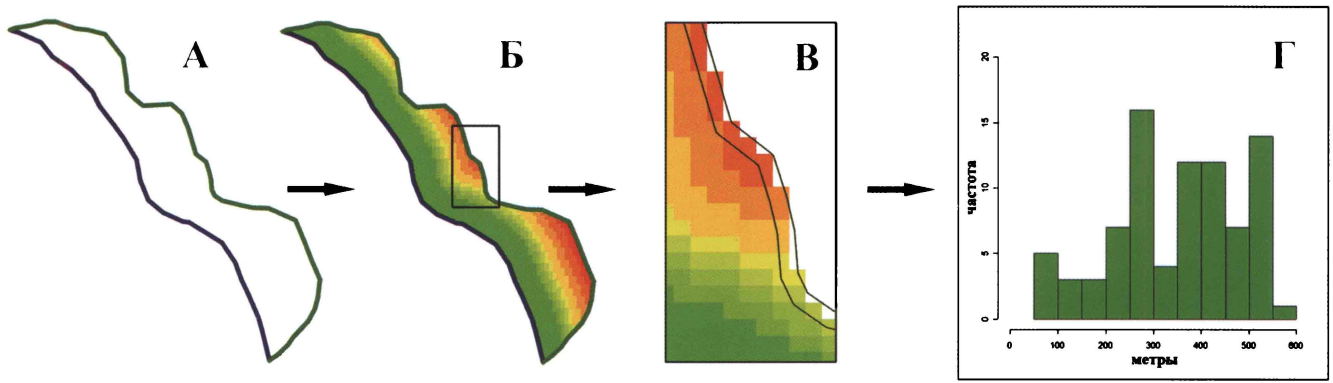


Рисунок 6. Методика оценки горизонтального сдвига лесорастительных границ

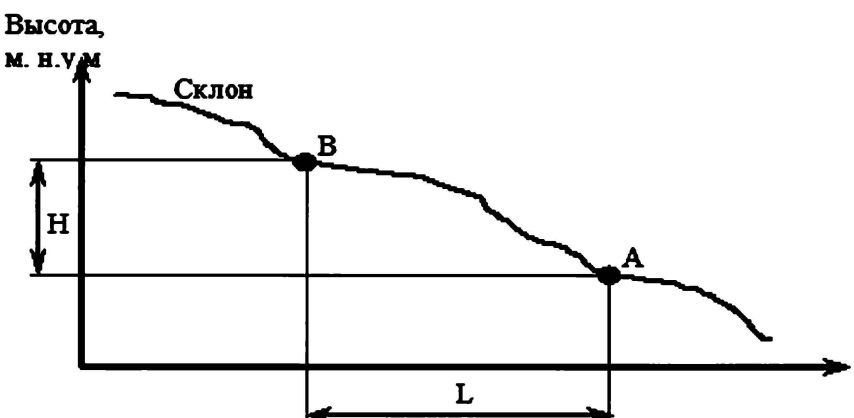


Рисунок 7. Схематическое изображение вертикального (H) и горизонтального (L) сдвига линейных границ от уровня «А» до уровня «В», характеризующих положение в начале и конце периода соответственно.

Оценка вертикального сдвига может быть осуществлена в ГИС ARC/INFO путем наложения слоев с верхней границей леса на цифровую модель рельефа. Таким образом будет получена информация о высоте расположения границ в начале и конце исследуемого периода (рис. 7). Последующая обработка результатов может быть осуществлена в статистическом пакете, где были построены гистограммы распределения высот.

ГИС позволяет не только оценить изменение высоты границы, но и проанализировать величину смещения в зависимости от различных факторов, информация о которых может быть также извлечена с других растровых покрытий. Например, можно рассмотреть величину сдвига в зависимости от крутизны и экспозиции склона, поступления прямой солнечной радиации, от относительной влажности почв и т.д. При этом можно учесть и видовой состав лесных сообществ, и рассмотреть сдвиги лесных рубежей в различных частях горных массивов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горчаковский, П.Л., Шиятов, С.Г. Физиономическая и экологическая дифференциация верхней границы леса на Северном Урале // Записки Свердловского отделения ВБО. – Свердловск, 1970. – Вып. 5. – С. 14–33.

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

3. Жмылев, П.Ю, Алексеев, Ю.Е., Карпухина, Е.А., Баландин, С.А. Биоморфология растений: Иллюстрированный словарь. М., 2005. – 256 с.

4. Каппер, О.Г. Хвойные породы. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1954. – 303 с.

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

6. МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Пачаури, Р.К., Райзингер, А. и основная группа авторов (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария. – 104 с.

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

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

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

10. Моисеев, П.А., Бартыш, А.А., Нагимов, З.Я. Изменения климата и динамика древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала // Экология. – 2010. – № 6. – С. 1–12.

11. Молчанов, А.А. География плодоношения главнейших древесных пород в СССР. М.: Наука, 1967. – 104 с.

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

13. Шиятов, С.Г. Верхняя граница леса на Полярном Урале и ее динамика в связи с изменениями климата // Докл. первой науч. конфер. молодых специалистов-биологов. – Свердловск: Институт биологии Уральского филиала АН СССР, 1962. – С. 37–48.

14. Шиятов, С.Г. Колебания климата и возрастная структура древосто-

ев лиственничных редколесий в горах Полярного Урала // Растительность тундр и пути ее освоения. – Л., 1967. – С. 271–278.

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

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

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

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

19. Шиятов, С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата (монография). Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 219 с.

20. Brink, V.C. A directional changes in the subalpine forest-heath ecotone in Garibaldi Park, British Columbia // Ecology. – 1959. – № 40. – P. 10–16.

21. Denton, G.H., Karlen, W. Holocene glacial and tree-line variation in the White River valley and Skolai Pass, Alaska and Yukon Territory // Quant. Res. – 1977. – № 7. – P. 63–111.

22. Franklin, J.F., Moir, W.H., Douglas, G.W., Wiberg, C. Invasion of subalpine meadows by trees in the Cascade Range, Washington and Oregon // Arctic Alpine Res. – 1971. – № 3. – P. 215–224.

23. Gorchakowsky, P.L., Shiyatov, S.G. The upper forest limit in the mountains of the boreal zone of the USSR // Arctic Alpine Res. – 1978. – № 10. – P. 349–363.

24. Gottfried, M., Pauli, H., Grabherr, G. Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: a new view of the alpine-nival ecotone // Arctic Alpine Res. – 1998. – 30. – P. 207–221.

25. Grabherr, G., Gottfried, M., Pauli, H. GLORIA: A Global Observation Research Initiative in alpine environments // Mountain Research and Development. – 2000. – V. 20/2. – 190–192.

26. De Groot, R.F., Ketner, P. Sensitivity of NW European species and ecosystems to climate change and some implications for nature conservation and management // Impact of Change on Ecosystems and Species. Gland: Switzerland, 1994. – 243 p.

27. Harsch, M.A., Hulme, P.E., McGlone, M.S., Dunca, R.P. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming // Ecology Letters. – 2009. – № 12. – P. 1040–1049.

28. Hessl, A.E., Baker, W.L. Spruce and fir regeneration and climate in the forest-tundra ecoto-ne of Rocky Mountain National Park, Colorado, USA // Arctic Alpine Res. – 1997. – № 29. – P. 173–183.

29. Hiemstra, C.A., Liston, G.E., Reiners1, W.A. Snow redistribution by wind and interactions with vegetation at Upper Treeline in the Medicine Bow Mountains, Wyoming, USA // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2002. – Vol. 34. – No. 3. – P. 262–273.

30. Holtmeier, K-F. Mountain Timberlines: ecology, patchiness, and dynamics // Advance in Global Change Research 14. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2003. – P. 384.

31. Jakubos, B., Romme, W.H. Invasion of subalpine meadows by lodgepole pine in Yellowstone National Park, Wyoming, U.S.A. // Arctic Alpine Res. – 1993. – № 25. – P. 382–390.

32. Kearney, M.S. Recent seedling establishment at timberline in Jasper National Park, Alberta // Canadian Journal of Botany. – 1982. – № 60. – P. 2282–2287.

33. Kharuk, V.I., Im, S.T., Dvinskaya, M.L. Forest-tundra ecotone response to climate change in the Western Sayan Mountains, Siberia // Scandin. J. Forest Research. – 2010. – P. 1–10.

34. Kullman, L. Change and stability in the altitude of the birch tree-limit in the southern Swidish Scandes 1915–1975 // Acta Phytogeogr. Suec. –1979. – № 65. – P. 1–21.

35. Kullman, L. Recent tree-limit dynamics of scots pine (Pinus sylvestris L.) in the southern Swidish Scandes // Wahlenbergia (Scripta Botanica Umensia). – 1981. – № 8. – P. 1–67.

36. Kullman, L. Recent tree-limit history of Picea abies in the southern Swedish Scandes // Can. J. For. Res. – 1986. – № 16. – P. 761–771.

37. Kullman, L. Dynamics of altitudinal tree-limits in Sweden: a review // Norsk Geografisk Tidsskrift. – 1990. – № 44. – P. 103–116.

38. Kullman, L. Structural change in a sub-alpine birch woodland In North Sweden during the past century. J. Biogeogr. 18 (1). – 1991. – P. 53–62.

39. Kullman, L. Norway spruce present in the Scandes Mountains, Sweden at 8000 BP: new light on holocene tree spread // Glob. Ecol. & Biogeog. Letters. – 1996. – № 5. – P. 94–101.

40. Kullman, L., Engelmark, O. Neoglacial climate control of subarctic Picea abies stand dynamics and range limit in Northern Sweden // Arct. Alp. Res. – 1997. – 29, 3. – P. 315–326.

41. Kullman, L. Tree line population monitoring of pinus sylvestris in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology // J. Ecololy. – 2007. – № 95. – P. 41–52.

42. Kullman, Oberg. Post-little ice age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: a landscape ecological perspective // J. Ecololy – 2009. – № 95. – P. 415–429.

43. Lavoie, C., Paeytte, S. Black spruce growth forms as a records of a changing winter environment at treeline, Quebec, Canada // Arc. Alp. Res. – 1992. – V. 24, № 1. – P. 315–326.

44. Lloyd, A.H. Response of tree-line population of foxtail pine (pinus balfouriana) to climate variation over the last 1000 years // Can. J. Forest. Res. – 1997. – № 27. – P. 936–942.

45. Lloyd, A.H., Graumlich, L.J. Holocene dynamic of treeline forests in the Sierra Nevada // Ecology. – 1997. – № 78. – P. 1199–1210.

46. Moiseev, P.A., Shiyatov, S.G. Vegetation dynamics at the treeline ecotone in the Ural highlands, Russia // Ecological Studies, Vol. 167, Alpine Biodiversity in Europe (L. Nagy, G. Grabherr, D.B.A. Thompson, eds.), 2003. P. 423–435.

47. Munroe, J.S. Estimates of little ice age climate inferred through historical rephotography, Northern Uinta Mountains, USA // Arct. Antarct. Alp. Res. – 2003. – 35. – P. 489–498.

48. Payette, S., Gagnon, R. Tree-line dynamics in Ungava peninsula, northern Quebec // Holarctic Ecology. – 1979. – № 2. – P. 239–248.

49. Payette, S., Filion, L. White spruce expansion at the tree line and recent climatic change // Can. J. Forest Res. – 1985. – № 15. – P. 241–251.

50. Payette, S., Lovoie, C. The arctic tree line as a record of past and recent changes // Environment Review. – 1994. – № 2. – P. 78–90.

51. Stone, D. Impacts of climate change on selected ecosystems in Europe // Parks. – 1996. – Vol. 6, № 2. – P. 25–38.

52. Taylor, A.H. Forest expansion and climate change in the mountain hemlock (Tsuga mertensiana) zone, Lassen Volcanic National Park, California, USA // Arctic and Alpine Res. – 1995. – № 27. – P. 207–216.

53. Wardle, P., Coleman, M.C. Evidence for rising upper limits of four native New Zealand forest trees // New Zealand Journal of Botany. – 1992. – № 30. – P. 303–314.

54. Weisberg, P.J., Baker, W.L. Spatial variation in tree regeneration in the forest-tundra ecotone, Rocky Mountain National Park, Colorado // Can. J. of Forest Res. – 1995. – № 25. – P. 1326–1339.

55. Woodward, A., Schreiner, E.G., Silsbee, D.G. Climate, geography, and tree establishment in subalpine meadows of the Olympic Mountains, Washington, USA // Arctic and Alpine Res. – 1995. – № 27. – P. 217–225.

Возобновление – процесс появления нового поколения растений.

Всходы – растения, несущие семядольные и настоящие листья (Жмылев, 2005).

Всхожесть семян – количество нормально проросших семян в определенных условиях проращивания и в срок (Справочник по лесосеменному делу, 1978).

Выбор ориентиров на фотоснимке и местности – визуальное определение хорошо заметных ориентиров на ландшафтном фотоснимке и местности.

Гипокотиль, или зародышевый стебелек, – часть, находящаяся в зародыше между зародышевым корешком (из него развивается главный корень растения) и зародышевой почечкой (из нее развивается главный побег растения); позднее – часть растения, которая расположена между главным корнем и главным побегом. В анатомическом плане гипокотиль также занимает промежуточное положение между корнем и стеблем. При прорастании семени над поверхностью почвы первым обычно становится виден именно гипокотиль. Сначала он имеет форму петельки, а затем, распрямляясь, вытягивает из почвы семядоли и зародышевую почечку.

Граница древесной растительности верхняя – линия, соединяющая самые верхние точки распространения древесных растений и их сообществ в горах. В данной работе мы различаем следующие верхние границы: *крупных кустарников, отдельных деревьев в тундре, редин, редколесий* и *сомкнутого леса.*

Граница леса верхняя – линия на склонах гор, соединяющая самые верхние точки распространения лесных сообществ различного фитоценотического статуса. Термин часто используется для обозначения границы распространения более или менее продуктивных лесов, имеющих хозяйственную ценность.

Густота древостоя – количество деревьев на единицу площади. Густоту древостоев глазомерно определяли по среднему расстоянию между деревьями. По этому признаку лесотундровые сообщества разделили на следующие четыре фитоценотические категории: *отдельные деревья в тундре* (среднее рассто-яние между деревьями более 50–60 м), *редина* (среднее расстояние между дере-вьями от 20–30 до 50–60 м), *редколесье* (среднее расстояние между деревьями от 7–10 до 20–30 м), *сомкнутый лес* (среднее расстояние между деревьями менее 7–10 м).

Дендромониторинг фотографический – слежение за изменениями в составе, структуре и распределении кустарниковых, лесотундровых и

лесных сообществ при помощи ландшафтных фотоснимков, сделанных в разное время с одних и тех же точек.

Дешифрирование ландшафтного фотоснимка – выявление и распознавание заснятых объектов, определение их качественных и количественных характеристик.

Зона ствола дерева бессучковая – зона ствола дерева, в пределах которой отсутствуют сучья. На малоснежных местообитаниях ее протяженность составляет 60–120 см, она расположена вблизи поверхности земли (выше уровня снега) в зоне метелевого переноса снега. На многоснежных местообитаниях, где скапливаются сугробы мощностью до 5–7 м, сучья отсутствуют от основания ствола до максимально возможной высоты снегового покрова.

Коммель — толстая часть ствола дерева непосредственно над корнем.

Координаты точки географические – величины, определяющие положение точки на земной поверхности (широта, долгота, высота н.у.м.). Определяются при помощи топографических карт и приборов систем глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС).

Крона дерева флагообразная – отсутствие кроны на наветренной стороне ствола в результате воздействия сильных ветров и снеговой корразии в зимний период.

Ландшафт географический – относительно однородный участок географической оболочки, сходный по истории развития, структуре и характеру взаимосвязи между его отдельными компонентами.

Ландшафт горный лесотундровый – визуально просматриваемый крупный однородный участок горной местности, где господствует лесотундровый тип растительности.

Поиск точки фотосъемки – визуальное определение точки съемки истори-ческого фотоснимка при помощи ориентиров на местности и топографической карты.

Пояс горно-таежный – пояс растительности, занимающий подножия скло-нов и представленный разреженными лиственничными, кедровыми, пихтовыми лесами.

Пояс горно-тундровый – пояс растительности, занимающий склоны гор выше горно-таежного и представленный ерниковыми, кустарничково-мохово-лишайниковыми и кустарничково-разнотравными тундрами, а также сообще-ствами эпилитных лишайников на каменистых россыпях.

Пояс подгольцовый – пояс растительности, основу которого представляют редколесья и редины в комплексе с зарослями кустарников (ольховника, ерника, крупных ив), горными тундрами и болотами.

Прорастание – процесс перехода диаспоры из состояния покоя к

активной деятельности, в результате которой образуется проросток (Жмылев, 2005).

Проростки – растения в период от прорастания до появлении первого настоящего листа (Жмылев, 2005).

Профилирование высотное – метод сбора исходной информации о высотных изменениях в составе, структуре и распределении растительности в горных районах.

Растительность древесная – совокупность растительных сообществ, в со-ставе которых имеются древесные растения.

Растительность кустарниковая – совокупность растительных сообществ, верхний ярус которых представлен крупными кустарниками.

Растительность лесная – совокупность растительных сообществ, в кото-рых доминирующая и эдификаторная роль принадлежит более или менее сомк-нутому древесному ярусу, определяющему состав и структуру других компонентов лесного биогеоценоза.

Растительность лесотундровая – совокупность растительных сообществ, в которых имеется разреженный древесный ярус, оказывающий слабое влияние на нижние ярусы, основу которых составляют тундровые виды.

Семенная продуктивность – количество семян, образующихся на одном дереве или одной ветке.

Семеношение – процесс продуцирования семян.

Семядоли, или зародышевые листья, – первые листья растения, развивающиеся у зародыша еще в семени; часто существенным образом отличаются от последующих листьев и по форме, и по внутреннему строению, а иногда и по функции. У голосеменных растений число семядолей составляет от двух до восемнадцати, причем их число может различаться даже в пределах вида. У однодольных семядоля одна, у двудольных обычно две.

Степень облесенности территории – доля покрытых рединами, редколесьями и сомкнутыми лесами площадей по отношению к общей площади рассматриваемой территории.

Структура древостоя возрастная – распределение деревьев в древостое по возрасту.

Тип верхней границы леса ветровой – высотное положение верхней границы редин, редколесий и сомкнутых лесов на выпуклых элементах рельефа, определяемое жесткими ветровыми условиями, небольшой мощностью снегового покрова и снеговой корразией надземных органов древесных растений в зимнее время.

Тип верхней границы леса курумный – положение верхней границы редин, редколесий и сомкнутых лесов, определяемое отсутствием мел-

козема и почвы на крутых склонах, покрытых крупноглыбовыми каменными россыпями.

Тип верхней границы леса снеговой – положение верхней границы редин, редколесий и сомкнутых лесов, определяемое скоплением выше по склону мощного сугроба снега, сход которого задерживается на 3–4 недели, что сильно сокращает длительность вегетационного периода.

Тип верхней границы леса термический – высотное положение верхней границы редин, редколесий и сомкнутых лесов, определяемое температурой воздуха и почвы. Выше этой границы имеются мелкозем и примитивные тундровые почвы, на которых могут произрастать древесные растения.

Точка ландшафтной фотосъемки – точка на земной поверхности, с которой сделан ландшафтный фотоснимок.

Трансформация лесотундрового сообщества – переход одной категории лесотундрового сообщества в другую в связи с изменением густоты, сомкнутости крон и продуктивности древостоя.

Урожай семян – общее количество семян, продуцируемых всеми деревьями на какой-либо единице площади (Полевая геоботаника, 1960).

Урожайность – средний уровень урожая за некоторый период времени (Полевая геоботаника, 1960).

Форма роста дерева – общий облик древесного растения, обусловленный особенностями строения его ствола и кроны. Наиболее распространенными формами роста по этому признаку являются следующие: *одноствольная* (имеется один главный вертикальный ствол); *многоствольная* (у одной особи формируется от двух-трех до 15–20 вертикальных стволов); *стланиковая* (основной стволик не поднимается вверх, а растет параллельно земной поверхности под воздействием неблагоприятных условий среды – сильных вет-ров, маломощного снегового покрова, снеговой корразии).

Фотоснимки ландшафтные разновременные – фотоснимки, сделанные с одной и той же точки земной поверхности в разное время.

Фотоснимок ландшафтный – фотоснимок местности, сделанный с поверхности земли или вертикальных природных и искусственных объектов (деревьев, каменных останцов, вышек, зданий).

Фотоснимок ландшафтный исторический – фотоснимок местности, сделанный у поверхности земли более 10 лет тому назад.

Фотоснимок ландшафтный повторный – фотоснимок местности, сделанный повторно с той же точки земной поверхности.

Фотоснимок ландшафтный современный – фотоснимок местности, сделанный с поверхности земли менее 10 лет тому назад.

Фотоснимок оцифрованный – цифровое изображение фотоснимка в

виде файла, полученное при помощи сканирования негативных и позитивных изображений или использования цифровой фотокамеры.

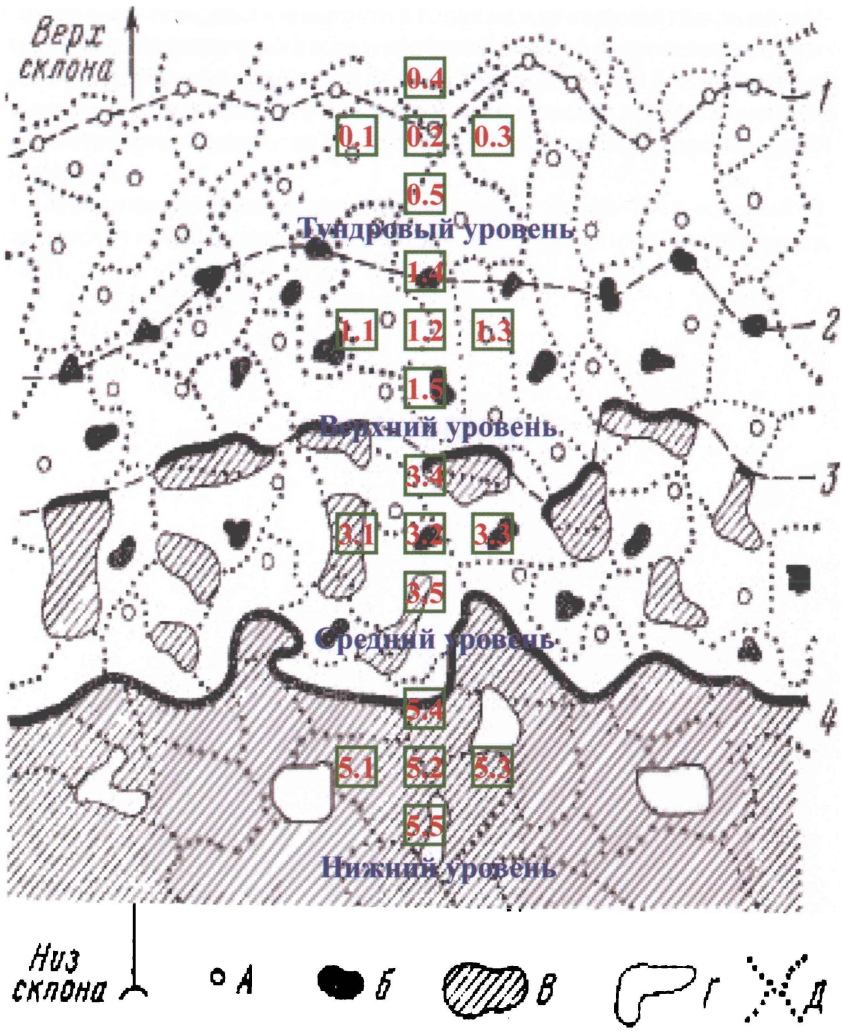
Экотон – переходная зона между двумя или более различными сообществами (Одум, 1975).

Экотон верхней границы древесной растительности (ЭВГДР) – переходный пояс растительности в горах между верхней границей распространения сомкнутых лесов и верхней границей распространения отдельных деревьев в тундре. Он занимает на склонах гор более широкую полосу по сравнению с подгольцовым поясом, так как в него входит нижняя часть горно-тундрового пояса, где древесные растения произрастают одиночно.

Ювенильный этап развития древесных растений – этап, который начинается от прорастания до появления способности к цветению (Жмылев, 2005).

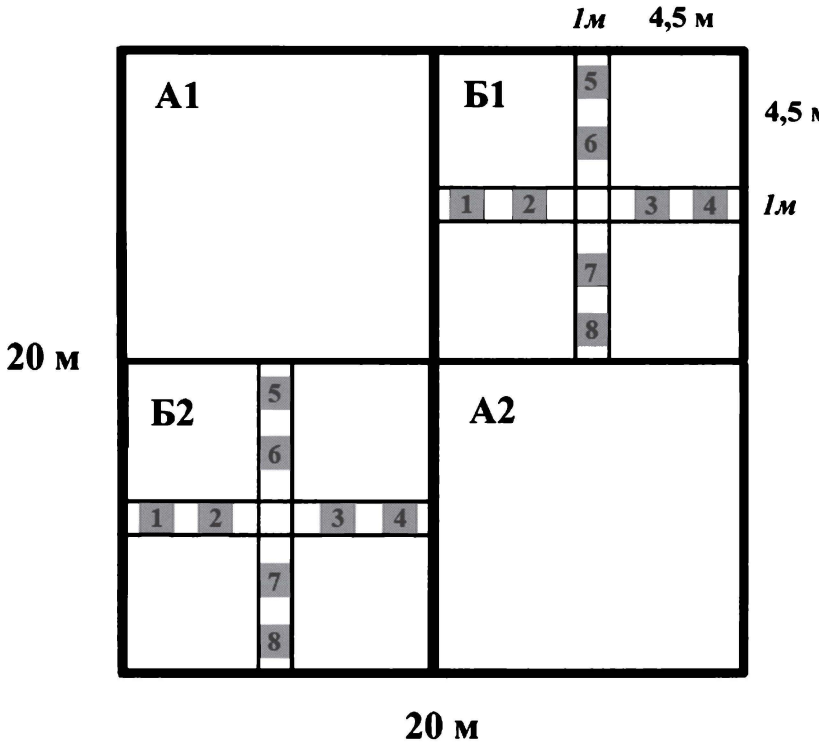
ПРИЛОЖЕНИЯ

ОБЩАЯ СХЕМА ЗАКЛАДКИ ПРОФИЛЯ



На схеме приведены верхние пределы: 1 – отдельных деревьев; 2 – групп деревьев (редин); 3 – островных мелколесий (редколесий); 4 – сомкнутых лесов; А – отдельные деревья; Б – группы деревьев; В – лесные островки и массивы; Г – нелесные фитоценозы; Д – границы между фитоценозами

ОБЩАЯ СХЕМА ЗАКЛАДКИ ПЛОЩАДОК



А1 и А2 – рабочие мезо-площадки

Б1 и Б2 – контрольные мезо-площадки

- постоянные микро-площадки 1х 1м для описания напочвенного покрова и учета проростков и всходов, (1, 2 …8 –порядковые номера микро-площадок)

ПРИМЕРЫ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕСТ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ

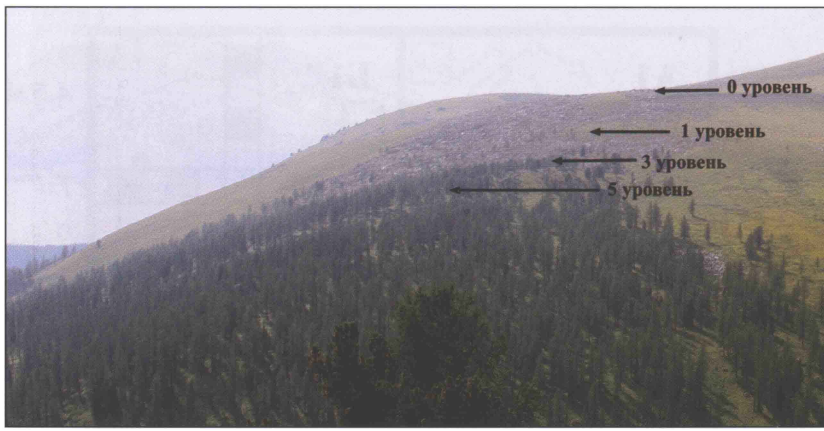


Рисунок 1. Катунский заповедник. Окрестности Тайменьего озера. Фото П.А. Моисеева

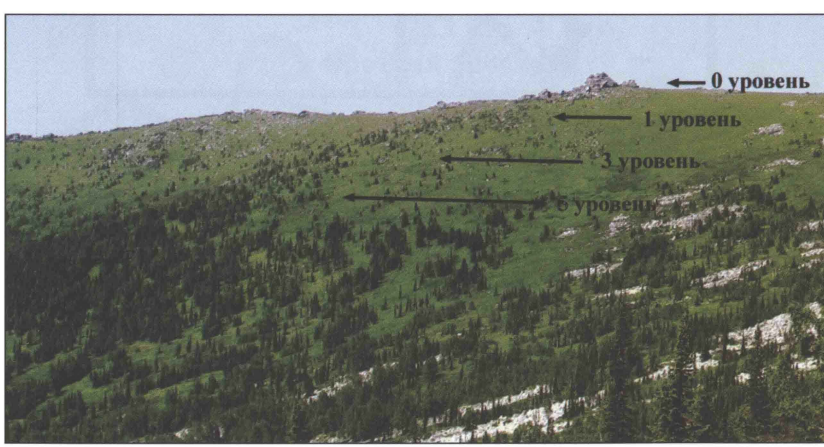


Рисунок 2. Тигирекский заповедник. Тигирекский хребет, вершина Скальная. Фото Н.И. Быкова

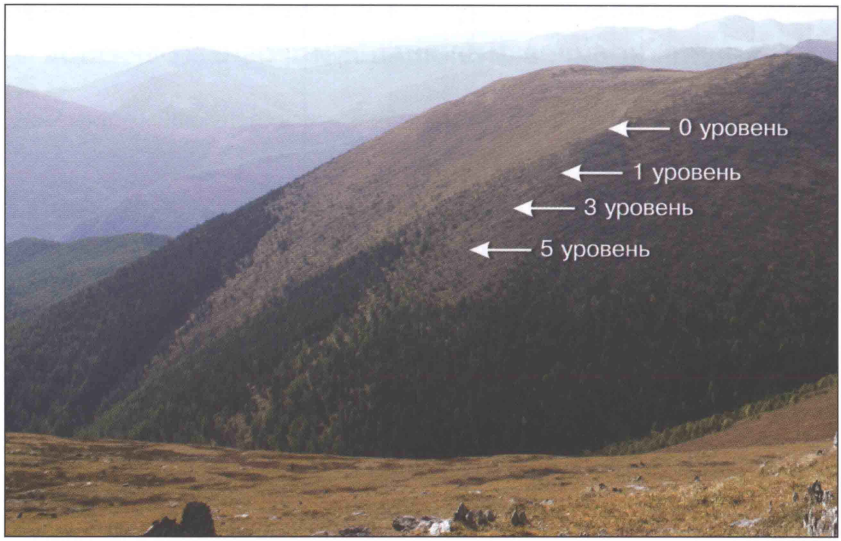


Рисунок 3. Саяно-Шушенский биосферный заповедник, Сарлинский хребет. Фото И.В. Самоварновой

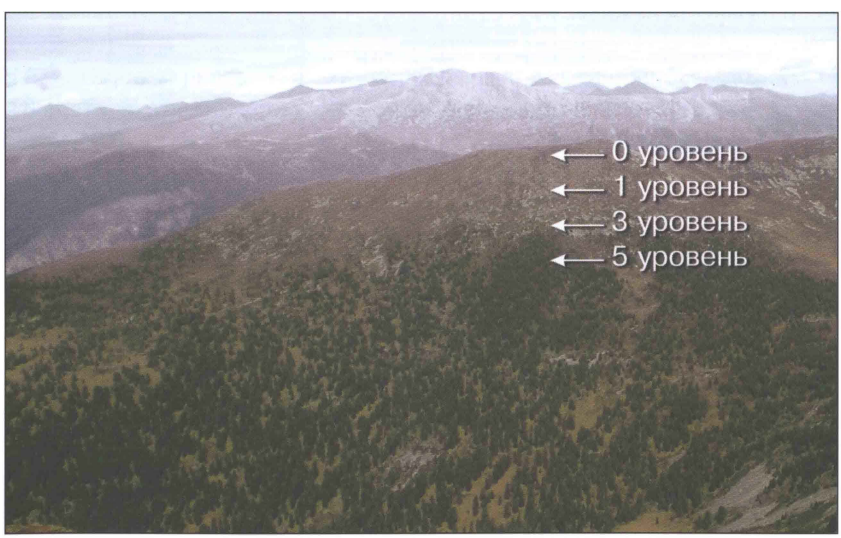


Рисунок 4. Алтайский биосферный заповедник, гора Тенгзяк. Фото М.Б. Сахневич

ПРИНЦИПЫ КОДИРОВКИ ПЛОЩАДОК И ПРОБНЫХ ОБРАЗЦОВ

1. Код макроплощадки должен отображаться следующим образом:
SUR-MIR-02-I-1.1,
где:

- первые три латинские буквы – аббревиатура названия района исследований. Например, WAL (Западный Алтай), EAL (Восточный Алтай), WSA (Западный Саян), ESA (Восточный Саян), TUV (Тува), KUZ (Кузнецкий Алатау);
- вторые три латинские буквы – аббревиатура названия ключевой вершины или хребта. Например, MIR (Малый Иремель), TAG (Таганай), BIR (Большой Иремель), NUR (Нургуш), SRK (Серебрянский Камень), KRA (Красная), SLA (Сланцевая), RAI (Рай-Из); KAT (Катунский хребет);
- первые две арабские цифры – год закладки макроплощадки;
- первая римская цифра – номер высотного профиля (I, II, III);
- арабские цифры с точкой-разделителем (например, 5.3): цифра до точки – номер серии макроплощадок (каждая серия приурочена к определенному высотному уровню); цифра после точки – номер макроплощадки в серии (по порядку слева направо).

Если закладываются дополнительные макроплощадки на малоснежных, сильно ветрообдуваемых участках этого же склона, добавляется (-), а если на многоснежных, то (+). Например, 1.6 (+) или 3.8 (-).

2. Код мезоплощадок должен отображаться следующим образом: A1, A2, B1, B2, где литера A обозначает *рабочую* мезоплощадку, а литера B – *контрольную* площадку.

3. Код микроплощадки должен отображаться следующим образом: арабскими цифрами с римской буквой «v» впереди (например, v5, v8) (нумерация согласно рисунку).

Полный код микроплощадки должен выглядеть следующим образом:
WAL-KAT-10-I-3.1-A2-v8

4. Пример заполненной этикетки для бурового образца с макроплощадки:

WAL-KAT-10-I-1.1 *Л5* - h. бур. - *5 см*	EAL-ABA-11-II-3.1 *К12* - h. бур. - *12 см*	KUZ-TIG-10-I-5.1 *П16* - h. бур. - 18 см	TUV-TAN-11-III-0.1 *Л1* - h. бур. - 3 см	WSA-KRA-11-II-2.1 *Л12* - h. бур. - 8 см

ПРИЛОЖЕНИЕ III

Форма №1. Общая информация о макроплощадках профиля ____-____-___-___ (например, KUZ-TIG-I-10)

Дата: ___.___.20___

Код			Уклон, град.	Экспозиция, град.	Дата закладки (день, месяц, год)	Высота н.у.м., м	Географич. координаты центра макроплощадки		Местоположение относительно базового столба высотного уровня		Азимут от центра по линии между мезоплощадками А1 и Б1	Исследователи (Ф. И. О.)
вершины	профиля	макроплощадки					с.ш. (мин., сек.) °	в.д. (мин., сек.) °	азимут, град.	расстояние, м		

Форма №2. Описание древостоев на макроплощадке: ____.____.___-___-___.___ (например, KUZ-TIG-10-I-1.1)

Дата: ___.___.20__

№	№ первого ствола в многостволь-нике	№ мезоплощадки	Вид	Азимут ствола дерева, градусы	Расстояние от центра площадки, м	Периметр ствола у основания, см	Периметр на высоте груди, см	Высота ствола, м	Высота до кроны, м	1-й диаметр кроны, м	2-й диаметр кроны, м	Происхождение ствола	Жизненное состояние	Высота повреждения ствола, м	Отметка о проведении фотосъемки → ☐ Комментарий	Высота до низа верхней части кроны, м	Высота до верха юбки кроны, м

Форма №3. Описание семенных деревьев на уровне ____-____- __ -__-___ (например, KUZ-TIG-I-10-1)

Дата начала: _.__.20__

№ дерева	Вид	Местоположение			Периметр ствола		Высота дерева, см	Урожайность шишек в баллах по Капперу										Количество шишек на дереве в урожайный год с отметками об их сборе							
		относительно макроплощадки №__	азимут ствола дерева, °	расстояние от центра площадки, м	у основания, см	на высоте груди, см		20__	20__	20__	20__	20__	20__	20__	20__	20__	20__	20__		20__		20__		20__	
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									
19																									
20																									
21																									
22																									

Форма №4. Описание всходов и подроста в пределах **макроплощадки:** __.__.__-__-__._ (например, KUZ-TIG-10-I-1.1)

Дата: __.__.20__

№ мезопл.	№ микропл.	№ нанопл.	Вид	Год появления	Высота, см	Жизненность	Субстрат	Нанорельеф	Примеч.	№ мезопл.	№ микропл.	№ нанопл.	Вид	Год появления	Высота, см	Жизненность	Субстрат	Нанорельеф	Примеч.

Форма №5. Описание растительности на микроплощадках в пределах макроплощадки: _-__.___.__-__-__.__

Дата: __.__.20__

Отметка о проведении фотосъемки →																	
Характеристика и № микроплощадки	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Проектив. покрытие поверхности, в сумме 100% — сосудистыми растениями																
Проектив. покрытие поверхности, в сумме 100% — крупными камнями																
Проектив. покрытие поверхности, в сумме 100% — щебнем																
Проектив. покрытие поверхности, в сумме 100% — лишайниками																
Проектив. покрытие поверхности, в сумме 100% — мхами																
Проектив. покрытие поверхности, в сумме 100% — оголенные участки почвы																
Проектив. покрытие поверхности, в сумме 100% — подстилки																
Сред. высота яруса — кустарникового																
Сред. высота яруса — травяно-кустарничкового																
Сред. высота яруса — мохово-лишайникового																
Проективное покрытие отдельных видов																

Проективное покрытие отдельных видов	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8

Форма №6. Описание растительности на мезоплощадках, код _____._____.___-___-___.* (например, KUZ-TIG-10-I-1.*)

Дата: __.__.20__

Характеристика / Номер мезоплощадки		__.__-А1	__.__-Б1	__.__-А2	__.__-Б2	__.__-А1	__.__-Б1	__.__-А2	__.__-Б2	__.__-А1	__.__-Б1	__.__-А2	__.__-Б2
Проектив. покрытие яруса	древесного												
	кустарникового												
	травяно-кустарничкового												
Проектив. покрытие поверхности, в сумме 100%	крупными камнями												
	щебнем												
	лишайниками												
	мхами												
	оголенные участки почвы												
	подстилки												
Сред. высота яруса	кустарникового												
	травяно-кустарничкового												
	мохово-лишайникового												
Проективное покрытие отдельных видов													

Номер мезоплощадки / Проектив. покрытие отдельных видов	__.__-А1	__.__-Б1	__.__-А2	__.__-Б2	__.__-А1	__.__-Б1	__.__-А2	__.__-Б2	__.__-А1	__.__-Б1	__.__-А2	__.__-Б2

Форма №7. Описание модельных деревьев на уровне ____-____- ____ (например, KUZ-TIG-I-10-1)

Дата: __.__.20__

№ дерева	№ ствола	Жизненная форма	Вид	Местоположение			Периметр ствола у основания, см	Периметр на высоте груди, см	Высота ствола, м	Высота до кроны, м	1-й диаметр кроны, м	2-й диаметр кроны, м	Жизненное состояние	Отметка о проведении бурения (в см)							Отметка о проведении фотосъемки
				относительно макроплощадки №__	азимут ствола дерева, град.	расстояние от центра макроплощадки, м								до		в	выше				
														места изменения направления роста на вертикальное							
																0–5	50	100	150	200	

Форма №8. Описание расположения и времени работы регистраторов температуры на профиле ___-____

(например, KUZ-TIG)

Код			Местоположение относительно столба макроплощадки		Место размещения (в кроне или почве)	Заводской номер	Дата (час, день, месяц, год)		Заводской номер	Дата (час, день, месяц, год)		Заводской номер	Дата (час, день, месяц, год)	
вершины	профиля	макроплощадки	азимут, град.	расстояние, м			закладки	снятия		закладки	снятия		закладки	снятия

Форма №9. Измерения глубины снега на разных уровнях

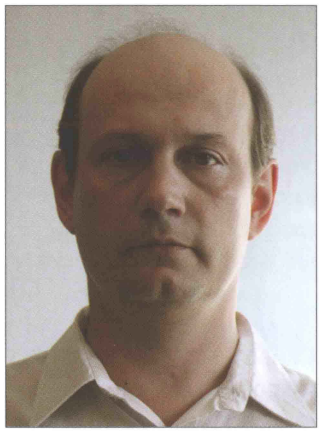
Дата: __.__.20__

Макропл. №	на уровне ___-___-__-___-____ (например, KUZ-TIG-I-10-1)										на уровне ___-___-__-___-__ (например, KUZ-TIG-I-10-1)									
	__.__		__.__		__.__		__.__		__.__		__.__		__.__		__.__		__.__		__.__	
	сверху вниз	слева направо	сверху вниз	слева направо	сверху вниз	слева направо	сверху вниз	слева направо	сверху вниз	слева направо	сверху вниз	слева направо	сверху вниз	слева направо	сверху вниз	слева направо	сверху вниз	слева направо	сверху вниз	слева направо
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				
25																				

Форма №10. Описание выделов древесной растительности на уровне ____-____- __ -__ (например, KUZ-TIG-I-10-1)

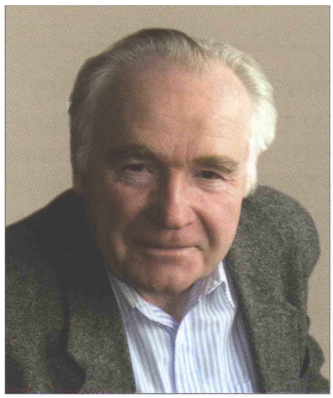
Дата: __.__.20__

№ выдела	Географ. координаты		Высота н.у.м., м	Уклон склона	Каменистость	Увлажнение	Древесный ярус								Кустарниковый ярус					Травяно-кустарничковый ярус						ПП, мох.-лиш. ярус
	с.ш. (мин., сек.) ____°	в.д. (мин., сек.) ____°					Состав древостоя	Лиственница		Кедр		______		Состав подроста	Ср. высот.	Общ. ПП	ПП доминантов			Ср. высот.	Общ. ПП	ПП доминантов				
								ПП	Ср. Н	ПП	Ср. Н	ПП	Ср. Н				___	___	___			___	___	___	___	



МОИСЕЕВ ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

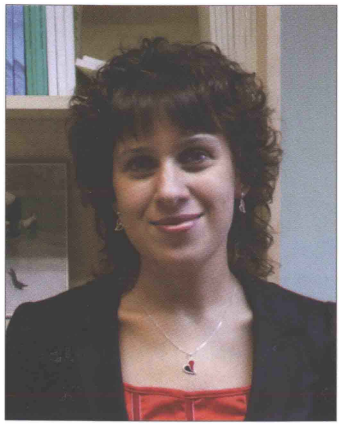
Моисеев Павел Александрович родился 26 сентября 1967 года в г. Челябинск, окончил в 1991 году биологический факультет Уральского госуниверситета по специальности «экология». С 1993-го по 1995-й работал старшим научным сотрудником лаборатории ООПТ НИЧ, а с 1995-го по 2004-й – старшим преподавателем экологии кафедры ботаники и защиты леса лесохозяйственного факультета УГЛТУ. С февраля 2004 года до сегодняшнего дня работает научным сотрудником лаборатории дендрохронологии ИЭРиЖ. Основное направление научных исследований П.А. Моисеева – влияние изменений климата на высокогорные растительные сообщества. В рамках этого направления были проведены работы по изучению влияний изменений климата на динамику сообществ в экотоне верхней границы древесной растительности и на вершинах гор Кузнецкого Алатау, Полярного, Приполярного, Северного и Южного Урала. За время работы в УГЛТУ Моисеев П.А. принимал активное участие в качестве ответственного исполнителя в работах по проектированию национальных парков «Таганай» (Южный Урал), «Конжаковский Камень» (Северный Урал), «Бельсу» (Кузнецкий Алатау). В 2002 году на заседании диссертационного совета ИЭРиЖ защитил кандидатскую диссертацию по теме «Радиальный прирост и возрастная структура высокогорных лиственничников Кузнецкого Алатау». В 2000–2003 годах П.А. Моисеев являлся ответственным исполнителем международного проекта GLORIA-EUROPE (EVK2-CT-2000-00056) по созданию мониторинговой сети слежения за влиянием изменений климата на высокогорные растительные сообщества Урала. П.А. Моисеев – автор 42 научных работ: к концу 2010 г. им было опубликовано 13 работ в рецензируемых журналах, в том числе 4 в иностранных, и 2 монографии, в том числе одна на английском языке.



ШИЯТОВ СТЕПАН ГРИГОРЬЕВИЧ

Шиятов Степан Григорьевич родился 24 декабря 1933 г. в д. Владимировка (Васильевский сельсовет, Зилаирский район, БАССР). Окончил в 1957 г. Уральский лесотехнический институт (лесохозяйственный факультет) в г. Свердловске. В 1981 г. защитил докторскую диссертацию по биологическим наукам по специальности «экология» (тема диссертационной работы – «Климатогенные смены лесной растительности на верхнем и полярном пределах ее произрастания»). С 1997 г имеет звание . С 1959 года работает в Институте экологии растений и животных УрО РАН; с 1985 по 2009 гг. – заведующий лабораторией дендрохронологии, сейчас – ведущий научный сотрудник лаборатории дендрохронологии. Научные интересы сосредоточены в области лесной экологии, дендрохронологии и дендроиндикации. Объектами исследований являются лесная и лесотундровая растительность, произрастающая в высокогорьях Урала и на полярной границе леса. Главное внимание уделяется реконструкции климатических условий далекого прошлого (при помощи анализа ширины годичных колец деревьев) и оценке их влияния на прирост, продуктивность, состав, структуру и пространственное положение лесотундровых и лесных сообществ. Большое внимание уделяется разработке методов дендроиндикации природных явлений и процессов. В последние годы в работах Шиятова С.Г. для оценки пространственно-временной динамики лесотундровых и лесных сообществ широко используются ГИС-технологии и анализ изображений на старых и современных ландшафтных фотоснимках, сделанных с одних и тех же точек.

Шиятов С.Г. – заслуженный деятель науки РФ (звание присвоено в 1998 г., за вклад в развитие лесной экологии). Общее количество опубликованных работ – 235, в том числе 5 монографий.



ДЭВИ НАДЕЖДА МИХАЙЛОВНА

Дэви Надежда Михайловна родилась 14 июля 1980 года в г. Свердловске. В 2002 году окончила биологический факультет Уральского государственного университета. С 2001 г. по настоящее время работает в лаборатории дендрохронологии Института экологии растений и животных УрО РАН. По материалам исследований Дэви Н.М. в 2008 г. была защищена кандидатская диссертация по теме «Морфогенез лиственницы сибирской в связи с современным изменением климата в высокогорьях Полярного Урала». Научные интересы Н.М. Дэви сосредоточены в области дендрохронологии и экологической морфологии растений. Ее исследования посвящены выявлению климатогенных стратегий структурной адаптации хвойных деревьев в высокогорьях Урала. Н.М. Дэви – автор 20 научных работ, в том числе двух статей в рецензируемых журналах.

П.А. МОИСЕЕВ, С.Г. ШИЯТОВ, Н.М. ДЭВИ

Программа мониторинга экотона верхней границы древесной растительности на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона

ISBN 978-5-904314-28-6

9 785904 314286

Фото на обложке И. Артемова

Дизайн-верстка Д.В. Гусев
Корректор Н.В. Ковязина

Подписано в печать 15.20.2010 г.
Типография «Город», формат А5 (60 х 84/16),
бумага мелованная, 130 г/м^2, тираж 200 экз.

Проект ПРООН/МКИ
«Расширение сети ООПТ для сохранения Алтае-Саянского экорегиона»

660062, г. Красноярск, ул. Крупской, 42, офис 514
Тел./факс: +7 (391) 247-91-12; e-mail: altai-sayan@undp.org
http://www.altai-sayan.com