

Рудинский Михаил Георгиевич

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РОСТ И
ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ЛИСТВЕННИЦЫ В ОСТРОВЕ ЛЕСА АРЫ-МАС
(ВОСТОЧНЫЙ ТАЙМЫР)**

Специальность: 03.02.08 – Экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Иркутск – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Сибирском институте физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель:

Виктор Иванович Воронин
доктор биологических наук

Официальные оппоненты:

Доктор биологических наук
Вера Ефимовна Бенькова, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института леса им. В.Н.Сукачева СО РАН

Кандидат географических наук
Игорь Николаевич Владимиров,
Временно исполняющий обязанности директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института географии им. В.Б.Сочавы СО РАН

Ведущая организация

Институт естественных наук, ФГБОУ ВПО Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (Якутск)

Защита диссертации состоится «**26**» мая **2016** г. в **13.00** на заседании диссертационного совета Д 212.074.07 при ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет» по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора 5, Байкальский музей им. профессора М.М.Кожова (ауд. 219)

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет» по адресу: 664003, г.Иркутск, бульвар Гагарина 24 и на сайте ИГУ: <http://isu.ru/science/boards/dissert/dissert.html?id=71>

Отзывы просим направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора 5, биолого-почвенный факультет ИГУ; тел/факс +7 3952 241855; e-mail: dissovet07@gmail.com

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат биологических наук, доцент

Алексей Александрович Приставка

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Текущее потепление климата, которое неизбежно влечет за собой существенные изменения экосистем, наиболее контрастно проявляется в районах Субарктики. Наблюдается активное наступление леса на тундру, увеличение сомкнутости притундровых лесов и возрастание их продуктивности, изменение видового состава биоценозов (Харук и др., 2006; Кнорре и др., 2007; Мазепа, 2007; Шиятов, 2009; Хантемиров и др., 2008). Пристальное внимание уделяется решению вопроса динамики полярной границы леса, которая в значительной степени определяется тенденцией изменения температуры воздуха (Хантемиров, Шиятов, 1999). Установлено, что связь между величиной радиального прироста древесины и температурой воздуха стала слабее (Briffa et al., 1998; 2008). Очевидно, что с ослаблением роли температуры усилилось влияние на рост деревьев других внешних факторов, например, летних осадков (Мазепа, 1999; Sidorova et al., 2009) или почвенных условий (Бенькова и др., 2012). Долгое время считалось, что северная граница леса пространственно совпадает с изотермой июля +10°C, а другие факторы рассматривались как очень и очень второстепенные. Не были установлены параметры среды, при которых происходит успешное возобновление древостоев лиственницы в самом северном в мире острове леса «Ары-Мас» (Таймыр, 72°30' с.ш.).

Таким образом, проблема выявления внешних факторов, существенно влияющих на радиальный прирост и лесовозобновление лиственничников, формирующих северную границу леса в условиях современных климатических изменений, является актуальной.

Объектом исследований является самый северный в мире остров леса, образованный лиственницей Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.)

Цель и задачи исследования

Целью работы являлось исследование особенностей роста лиственницы Гмелина в редколесьях и редианах в лесном массиве «Ары-Мас» в зависимости от климатических и эдафических условий и оценка возможностей лесовозобновления лиственничников.

Для достижения цели решены следующие задачи:

1. Определить особенности формирования радиального прироста лиственницы разных ценотических позиций в «Ары-Мас».
2. Провести анализ данных инструментальных наблюдений температуры и осадков на экологическом профиле и ГМС «Хатанга» и выявить связь радиального прироста деревьев с климатическими параметрами.
3. Установить характер лесовозобновительного процесса в редианах и редколесьях лиственницы.

Защищаемые положения:

1. Деревья лиственницы, занимающие разные ценотические позиции: в редианах, редколесьях и одиночно стоящие деревья на пределе их распространения, имеют характерные особенности роста в последние десятилетия.

2. Радиальный прирост лиственницы в древостоях Восточного Таймыра в последние десятилетия не имеет выраженной тенденции к увеличению, что связано с характером климатических изменений в регионе.

3. Массовое лесовозобновление в лиственничниках Ары-Мас происходит волнообразно. Эти периоды чётко фиксируются в динамике ширины годичных колец лиственницы в редианах и редколесьях.

Научная новизна

Для «Ары-Мас», самого северного в мире острова леса, впервые проведены исследования круглогодичного хода температуры почвы на экологическом профиле с использованием термодатчиков в разных местах произрастания лиственницы. Показано, что на открытых пространствах почва летом прогревается достаточно сильно – максимальные значения её температуры близки к средней температуре воздуха, но также

сильно охлаждается и имеет заметно большую амплитуду месячных показателей. Установлено, что синергия негативных влияний позднего схода снега и неглубокого оттаивания корнеобитаемого слоя почвы уменьшает продолжительность периода физиологической активности лиственницы и приводит к снижению величины годового радиального прироста древесины лиственницы в редколесьях по сравнению с рединами. Показан волнообразный характер лесовозобновления лиственничников Заполярья

Практическая значимость

Выполненная работа входила в планы научных исследований Государственного природного биосферного заповедника «Таймырский» по изучению естественного хода процессов, протекающих в природе и выявлению взаимосвязей между отдельными частями природных комплексов, её результаты вошли в ежегодные отчёты заповедника (2010-2013 гг.). Они опубликованы в летописях природы (т. 26, 2010; т. 27, 2011; т. 28, 2012; т. 28, 2013) и докладывались на НТС заповедника (2010-2013 гг.).

Достоверность исследований подтверждается большим по объёму экспериментальным материалом, применением научно обоснованных методик сбора, обработки, анализа и оценки исходных данных с высокой точностью измерений годовых колец на полуавтоматической установке LINTAB (точность до 0,01 мм); каждая хронология проверялась на согласованность с общим рядом по допустимому коэффициенту корреляции; использованием современных методов статистической обработки материала с применением компьютерной программы Microsoft Excel; значительным объёмом метеорологических данных. Точность температурных датчиков $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, измерения линейного прироста проведены с точностью 1 мм, глубины сезонного оттаивания – 1 см.

Личный вклад соискателя

Автор принимал участие в закладке экологического профиля и пробных площадей, в установке температурных датчиков, снятии показаний и их аналитической обработке. Лично автором были отобраны керны древесины и проведена их камеральная обработка, собран материал по лесовозобновлению, выполнены измерения глубин сезонного оттаивания грунтов. Автором определены задачи, подготовлена программа исследований, выполнена работа по планированию, выбору и обоснованию методов. Обработка, датировка, анализ и обобщение полученных результатов проведены автором лично.

Апробация работы

Результаты исследований обсуждались на конференциях: «Заповедники Российской Арктики: проблемы и пути решения» (Тикси, 2010); «Таймырские чтения – 2011» (г. Норильск, 2011); «География, история и геоэкология на службе науки и инновационного образования» (Красноярск, 2011); «Биологические исследования в Сибири» (Иркутск, 2011); «Таймырские чтения – 2012» (Норильск, 2012).

Структура и объём диссертационной работы

Диссертация изложена на 117 страницах текста, состоит из общей характеристики работы, шести глав, выводов, списка использованных источников (143 наименования, в том числе 9 на иностранном языке), иллюстрирована 11 таблицами, 30 рисунками.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, из которых 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, изложена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Достоверность результатов и выводов. Перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние изученности проблемы» приведен анализ литературных источников, посвященных вопросам изучения острова леса Ары-Мас и

взаимоотношения леса и тундры в целом, исследованиям на пределе распространения древесной растительности. Рассмотрено современное положение северной границы распространения древесной растительности на Таймыре. Изложены мнения исследователей относительно причин удаления лесного массива на север за пределы границы лесов, явлений редкостойности лесов и безлесия тундр. Существуют две актуальные теории, касающиеся взаимоотношения леса и тундры на Восточном Таймыре: 1. Лес имеет тенденцию к положительному сдвигу в тундру (Толмачев, 1931; Тюлина, 1937). 2. На пределе распространения происходит угнетение древесной растительности (Крючков, 1976; Тыртиков, 1995).

Вторая глава «Материалы и методы». В основу диссертации положены результаты исследования динамики радиального прироста и параметров лесовозобновления лиственницы Гмелина. Объектом изучения служили древостои и одиночно стоящие деревья лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.).

В 2010 году во время совместной экспедиции Таймырского заповедника и географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова при участии автора на Ары-Масе был заложен экологический профиль, проходящий через разные типы растительности и три пробные площади в лиственничных редколесье и редины, на которых в течение полевых сезонов 2010-2013 гг. автором было взято 80 кернов древесины для дендроклиматического анализа и 114 кернов для определения возрастной структуры древостоев, измерен линейный прирост главного побега у 195 экземпляров подроста лиственницы, получены морфометрические параметры 150 шишек лиственницы, произведено 902 измерения глубины сезонного оттаивания грунтов. В 2011 году автором был произведен учет пней в 20-метровой полосе вдоль профиля, заложена пробная площадь на границе отдельно стоящих деревьев. При участии автора были заложены 6 температурных датчиков в редколесье, редины и тундре.

В работе применены географические, лесотаксационные, геоботанические методы. Обработка серий годовых колец проводилась с использованием программ TSAP и программного пакета DPL (COFESHA, ARSTAN и др.). Статистическая обработка данных проводилась с применением программы Microsoft Excel из пакета Microsoft Office 2013.

Также были использованы данные метеорологических наблюдений из архива полярной метеостанции «Хатанга». Ряд сведений о состоянии древостоев редколесий и редины, полученных ранее другими авторами, приводится в качестве дополнения доказательной базы для положений, выносимых автором на защиту, и сопровождаются ссылками на авторов.

В третьей главе «Природные условия района исследования» на основе литературных материалов дано краткое описание физико-географического положения, геологического строения, рельефа, гидрологии, климатических условий, почвенного и растительного покрова района исследований. Приводится подробный анализ теплового режима почвы в редины и редколесье, данные о толщине и плотности снежного покрова, о сроках его разрушения по материалам автора. Показано, что мощность снежного покрова в редколесьях почти втрое выше таковой в редины при трехкратно большей плотности снега. Оттаивание деятельного слоя почвы на открытых пространствах происходит раньше на 10-12 дней, чем на закрытых пространствах.

Четвертая глава «Экологические факторы, доминирующие в лиственничниках Ары-Мас»

Систематическое изучение глубин сезонного оттаивания на Ары-Масе проводилось в 1970-1976 гг. во время работ БИН АН СССР (Адаменко, Ловелиус, 1974; Ловелиус, 1978). Анализ данных позволил авторам предположить, что мерзлота не является фактором, ограничивающим распространение леса в тундру.

Большую экологическую роль в зоне вечной мерзлоты играет тепловой режим почвы (Сукачев, 1910; Колосков, 1932; Дадыкин, 1952; Коровин, 1961; Саввинов, 1976). Он определяется радиационным балансом, с которым также связаны температура

приземных слоёв воздуха, испарение и таяние снега (Поздняков, 1986). Известно, что количество тепла, поступающего в почву в лесу, меньше, чем на лугу; и далее, что на прогревание мёрзлого слоя в лесу расходуется больше тепла, чем на лугу (Гаврилова, 1967). Автор считает причиной этому большую объёмную теплоёмкость мёрзлого грунта в лесу, влажность которого выше, чем на лугу. По Л.К. Позднякову (1986) условия для биологических обменных процессов в почве зависят от теплового режима верхних 20-сантиметровых горизонтов, а жизнедеятельность части активных корней лиственницы даурской протекает в тех слоях почвы, где температура ниже 5° и лишь на короткое время повышается до 6-7°.

Из материалов фенологических наблюдений Таймырского биосферного заповедника в урочище Ары-Мас и в окрестностях п. Хатанга следует, что раннелетний сезон предшествует и соответствует среднемноголетнему периоду активации ростовых процессов лиственницы на востоке Таймыра (Летопись Природы ..., 2003) и в первой декаде июля обычно завершается процесс разворачивания хвои лиственницы.

А.А. Канделаки (1979), работая на Ары-Мас, выявил, что в надземных частях модельных деревьев камбиальные производные начинают появляться в основном в первой декаде июля при среднесуточной температуре воздуха 13-16°C, а камбий в корнях пробуждается почти одновременно с оттаиванием почвы. Данное явление еще раз подтверждает мнение Б.А. Тихомирова (1956) о чрезвычайно чутком реагировании растительности Крайнего Севера на температурные условия и использования ими малейшей возможности для ускорения развития в короткое арктическое лето.

Различия в педоклиматических условиях между рединами и редколесьями усиливаются термоизолирующим влиянием мохового покрова. В редирах меньшая мощность последнего обуславливает лучшую прогреваемость верхних слоёв почвы (Ваганов, 1996).

На нашей территории можно условно выделить открытые и закрытые пространства, если за таковые принять редины и редколесья соответственно. Как показывают наши результаты, полученные от автоматических температурных регистраторов за период 2010-2013 гг., температура почвы на открытых и закрытых пространствах существенным образом различается (рис 1, 2).

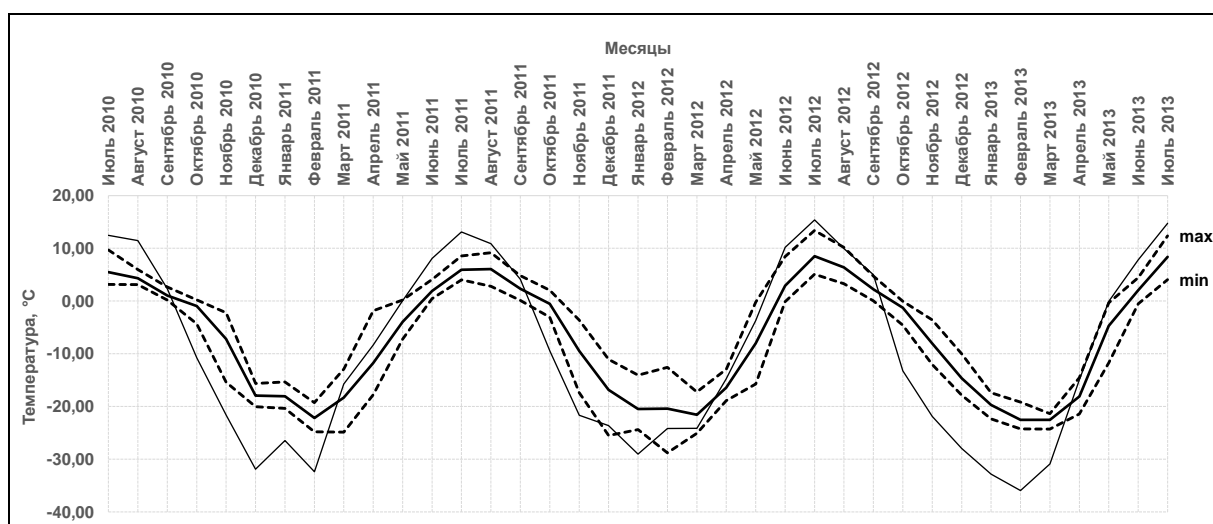


Рис. 1. Среднемесячная температура почвы открытых пространств (сплошная жирная линия, пунктиром показаны её максимальные и минимальные значения соответственно обозначениям). Среднемесячная температура воздуха показана тонкой линией.

Темпы нагревания и охлаждения почвы на открытых и закрытых пространствах почти одинаковы – почва быстро нагревается до перехода через 0°C, ближе к пику температур (как правило, июль) температура выходит на плато, после чего начинается ее постепенный спад до 0°C, более замедленный на закрытых пространствах.

При сравнении дат перехода температуры почв через 0°C выяснилось, что оттаивание деятельного слоя почвы на открытых пространствах происходит раньше на 10-12 дней, чем на закрытых пространствах. А осенью переход температуры почвы через 0°C на открытых и закрытых пространствах происходит практически одновременно.

На открытых пространствах почва летом прогревается достаточно сильно – максимальные значения её температуры близки к средней температуре воздуха, но и также сильно охлаждается, судя по минимальным температурам зимой и имеет заметно большую амплитуду месячных показателей.

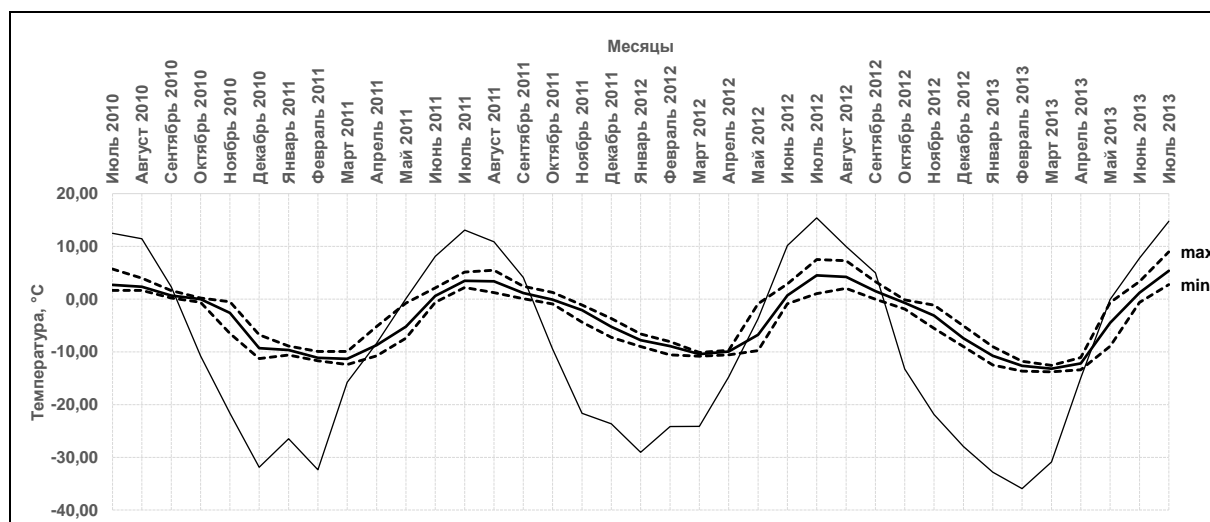


Рис. 2. Среднемесячная температура почвы закрытых пространств (сплошная жирная линия, пунктиром показаны её максимальные и минимальные значения соответственно обозначениям). Среднемесячная температура воздуха показана тонкой линией.

Принимая во внимание тот факт, что камбий в корнях лиственницы начинает функционировать почти одновременно с их оттаиванием, мы можем сделать следующий вывод: на открытых пространствах условия для роста лиственницы более благоприятны как по продолжительности вегетационного периода, так и по температуре деятельного слоя почв.

Одновременно с этим был исследован вопрос о сопоставимости вновь полученных данных с метеоинформацией официальных гидрометеостанций, о возможности привлечения рядов данных этих метеостанций для изучения динамики температуры почвы.

Метеоданные, полученные нами с помощью термодатчиков, были объединены и приведены к среднемесячным значениям.

Динамика рядов среднемесячных температур воздуха и почвы хорошо согласуются, коэффициент корреляции между ними равен 0,91, при $P \leq 0,01$. Немного меньшее значение коэффициента корреляции отмечено для рядов среднесуточных значений этих параметров – 0,87. Тем не менее, оно также статистически достоверно.

Для выявления количественной зависимости между рядами среднемесячных температур воздуха и почвы исходные данные измерений были разделены на три блока: летние температуры (IV-IX мес.), температуры осеннего и зимнего периода (I-II, X-XII мес.) и весенние температуры (III-V мес.). Далее для линейного тренда каждой группы температур было получено уравнение регрессии, где x – температура воздуха (рис. 3).

Для тренда летних температур уравнение имеет вид: $y=0,4906x - 0,835$ ($R^2=0,7379$).

Для тренда весенних температур уравнение имеет вид: $y=0,551x - 5,8698$ ($R^2=0,9295$).

Для тренда температур осеннего и зимнего периода уравнение имеет вид: $y=0,8033x + 7,9351$ ($R^2=0,8489$).

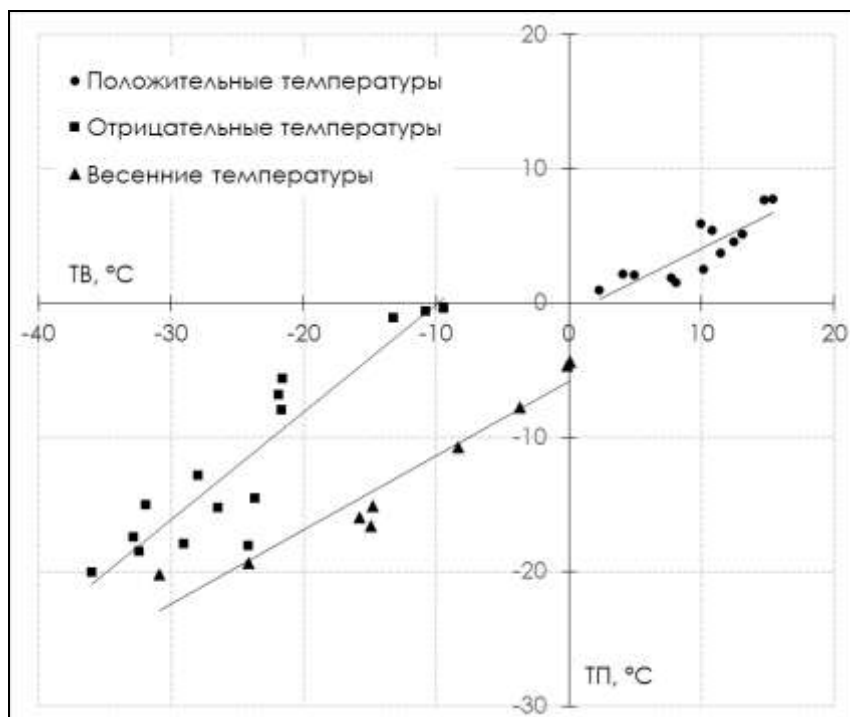


Рис. 3. График зависимости между температурой почвы (ТП) и температурой воздуха (ТВ)

Наибольшая связь между температурами воздуха и почвы наблюдается в весенний период, а наименьшая – в летние месяцы.

Таким образом, мы имеем возможность рассчитать среднемесячную температуру почвы на глубине 10 см для территории Ары-Маса в разные сезоны года, имея аналогичные значения температур воздуха полярной метеостанции «Хатанга».

В зоне распространения вечной мерзлоты снежный покров важен не только как источник влаги в весеннее время, но и как своего рода теплоизолирующий экран, который предохраняет почву от чрезмерного охлаждения (Поздняков, 1986). Помимо положительных физических свойств, снежный покров имеет и отрицательную сторону, которая проявляется в охлаждающем влиянии снега на грунты там, где он залегаёт более 200 дней в году, особенно в марте-мае (Некрасов, 1984).

В 1973-1975 гг. в рамках экспедиции БИН РАН на Ары-Масе проводилось изучение снежного покрова, по данным которого было оценено распределение снегонакопления и его характеристики (Ловелиус, 1978). Были выявлены следующие особенности распределения снежного покрова: наиболее равномерным накоплением снега отличаются тундры и валиково-полигональные болота. В лиственничных рединах имеет место накопление снежных сугробов с наветренной стороны и шлейфов в ветровой тени за группой стволов деревьев. Максимальное накопление снега наблюдается в лиственничных редколесьях. Причиной такого перераспределения служит метелевый перенос (Дюнин, 1963). Н.В. Ловелиусом (1978) особо отмечается, что к концу января снежный покров сформировывается на 75%, а аккумуляция холода в то же время достигает 40%, и к моменту максимального выхолаживания растительность в основном находится под снегом. На основании этого Ловелиус предполагает, что когда сроки выпадения снега сдвигаются к концу холодного сезона, а интенсивность выхолаживания остаётся прежней, растения повреждаются из-за вымерзания.

В последние десятилетия прошлого века и до 2010 г годовая сумма осадков повысилась на 11,7 % против таковой за период с 1934 г по середину 1950-х гг. Самым же важным стало изменение распределения осадков по месяцам – количество зимних осадков увеличилось, а летних, напротив, уменьшилось (рис. 4).

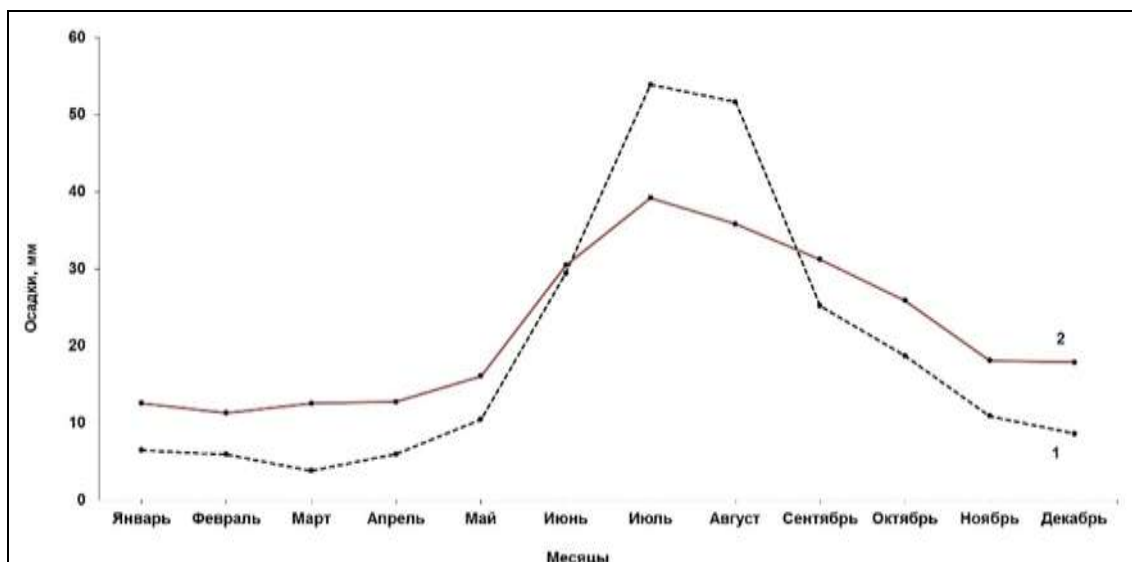


Рис. 4. Средняя сумма осадков по месяцам за периоды 1934–1953 гг. (1) и 1954–2010 гг. (2) (по данным метеостанции «Хатанга»)

В апреле 2012 г в период максимального снегонакопления на Ары-Мас мы провели снегомерные наблюдения в районе дендрохронологических исследований. На закрытых пространствах мощность снегового покрова составила 76,7 см, а плотность снега достигала $0,29 \text{ г/см}^3$. На открытых – средняя толщина снегового покрова была 27,5 см, при плотности $0,19 \text{ г/см}^3$. Как видно, толщина снежного покрова в редколесьях почти втрое выше таковой в редилах при трехкратно большей плотности снега. Близкие к нашим значения толщины снежного покрова приводятся и Н.В. Ловелиусом для 1974-75 гг. – в редколесьях мода мощности снежного покрова составляла 77 см, а в редилах – 47 см (Ары-Мас, 1978).

Известно, что в лесу по сравнению с открытой местностью длительность снеготаяния напрямую зависит от количества выпавших за зиму осадков и плотности снежного покрова (Рахманов, 1984). Учитывая, что продолжительность вегетационного периода на территории очень невелика и составляет 32–65 дней, каждый потерянный для вегетации день вносит существенный негативный вклад в продукционный процесс деревьев. Таким образом, в случае позднего схода снежного покрова (закрытые пространства) вегетационный период деревьев начинается позднее, что приводит к снижению величин радиального прироста. Дополнительным негативным моментом может являться чрезмерная увлажненность деятельного слоя почвы при таянии мощного снежного покрова в плохо дренируемых местоположениях.

Пятая глава «Анализ влияния экологических факторов на прирост лиственницы».

Антропогенный фактор, оказывающий влияние на состояние лесной растительности на Ары-Масе, впервые отмечен в классическом труде известного геоботаника Л.Н. Тюлиной (1937). Во-первых, на контакте редколесья и тундры ею отмечено полное отсутствие сухостоя. Причиной тому использование его в первой половине XX века в качестве топлива «подкочёвывающими сюда» оленеводами. Во-вторых, Л.Н. Тюлина повсюду наблюдала следы интенсивной рубки. В-третьих, это вытаптывание, приведшее к деградации растительного покрова на некоторых участках. С той поры никакого существенного антропогенного влияния там не возникло, но, напротив, в связи с заповедным режимом данной территории, этот фактор был сведен к минимуму.

Вдоль заложенного в 2010 году экологического профиля был произведен количественный учёт пней в 20-ти метровой полосе вдоль линии профиля (табл. 1).

Анализ таблицы 1 показывает преобладание по экологическому профилю редколесий, расположенных на протяжении 1685 метров, что составляет 65,5% его длины

(2573 м), редин расположенных на протяжении 314 метров по профилю, что составляет 12,2% его длины и участков тундры соответственно 574 м (22,3%).

Таблица 1. Характеристика таксационных выделов по экологическому профилю.

№ выдел	Состав, подрост (лет/шт/га в тыс.), подлесок (лет/шт м), покров (%), почва, рельеф, экспозиция и крутизна склона	Возраст (лет)	Живые Деревья (экз)	по ЛУ		по авт.		L (м)	Пни	
				H (м)	D (см)	H (м)	D (см)		N шт.	D см
3	10Л Пк: ос 25, кас 10, др 7, бр 5, мх 35, лш 30; Пд: 25/0,7/0,2; Пл: бк 10, ивк 10/0,1; Пч: тж мр тр-гл; Рф: пл	110	16	5	6	4	7,3	176	6	6,9
5	10Л Пк: бг 20, кас 10, хв 10, ос 5, бр 5, гб 5, мх 40, лш 20; Пд: 25/0,8/0,3; Пл: ивк 25, бк 20/0,3; Пч: тж мр тр-гл; Рф: пл	160	61	6	9	4,3	8,7	143	17	9,5
4	10Л Пк: кас 15, ос 15, гб 10, др 7, мх 40, лш 50; Пд: 25/0,6, 0,1 – повр. жив.; Пл: бк 10, ивк 10 /0,15; Пч: тж мр тр-гл; Рф.: 3 ск 4°	140	122	5	7	4	7,4	452	110	9,1
12	Т Пк: ос 20, кас 15, др 10, гб 5, мх 35, лш 50; Пл: бк 15, ивк 10/0,1; Пч: тн огл; Рф: С ск 3°	-	-	-	-	3	6,3	296	1	6,5
15 30	Т Пк: ос 30, пц 7, гб 5, мр 3, мх 70; Пл: бк 40, ивк 30/0,3; Пч: тн дн ндм глв; Рф. лош.	-	-	-	-	-	-	43	-	-
16	Т Пк: ос 20, кас 15, др 7, гб 6, мх 40, лш 50; Пл: бк 10, ивк 10/0,1; Пч: тн огл; Рф: С ск 4°	-	-	-	-	-	-	235	-	-
18	Р Пк: ос 25, кас 20, др 10, гб 15, мх 60, лш 35; Пд: 25/0,6/0,1; Пл: бк 25, ивк 15/0,15; Пч: тн огл; Рф: С ск 4°	160	12	5	8	3,7	8,6	278	7	10,7
19	10Л Пк: бг 30, гб 15, ос 10, кас 7, бр 7, мх 70, лш. 30; Пд: 20/0,4/0,3; Пл: бк 30, ивк 30/0,2; Пч: тж мр тр-глв; Рф: пл	220	95	5	9	4,8	13,6	280	54	9,8
20	Совпадает с выделом 19.	220	153	5	9	4,5	10,7	326	100	11
22	Р Пк: ос 20, кас 10, др 7, гб 4, пц 2, мх 40, лш 30; Пд: 10Л/25/0,5/0,2; Пл: ивк 10, бк 7/0,15; Пч: тн огл; Рф: С ск 8°	90	16	3	4	3,5	13,6	36	-	-
8	10Л Пк: кас 20, ос 10, др 10, бр 5, мх 40, лш 45; Пд: 25/0,5/1,1; Пл: бк 10, ивк 10/0,1; Пч: тн огл; Рф: С ск 5°	150	14	4	6	3,8	6,3	308	9	7,1

В таблице приняты следующие сокращения: - 10Л – редколесье; Р – редина; Т – тундра; Пк – покров; Пд – подрост; Пл – подлесок; Пч – почва; Рф – рельеф; пл – плато; ск – склон; лош – лощина; З – запад; С – север; ЛУ – материалы лесоустройства; авт. – материалы автора; Н, h – высота; D – диаметр; L – длина профиля по выделу; N – количество; повр. жив. – повреждения животными; - ос – осоки; кас – касиопея; др – дриада; бр – брусника; мх – мхи; лш – лишайник; бк – березка; ивк – ива кустарничковая; бг – багульник; хв – хвоц; гб – голубика; - тж – таежная; мр – мерзлотная; тр-гл – торфяно-глеявая; тн – тундровая; огл – оглеенная; дн – дерновая; ндм – надмерзлотная; глв – глееватая.

Анализ материалов по срубленным деревьям в различных выделах по профилю показывает разную степень выборки, которая в пересчёте на 1 га составляет: для выдела № 3 (6 деревьев в полосе 176 м x 20 м) – 16 деревьев; для выдела № 5 (17 деревьев в полосе 143 м x 20 м) – 61 дерево; для выдела № 4 (110 деревьев в полосе 452 м x 20 м) – 122 дерева; для выдела № 18 (7 деревьев в полосе 278 м x 20 м) – 12 деревьев; для выдела № 19 (54 дерева в полосе 280 м x 20 м) – 95 деревьев; для выдела № 20 (100 деревьев в полосе 326 м x 20 м) – 153 дерева; для выдела № 8 (9 деревьев в полосе 308 м x 20 м) – 14 деревьев.

Это объясняет антропогенную причину разделения 19 и 20 выделов, в которых степень выборки древостоя отличается между собой на 61% (153 к 95), а остальные характеристики для этих выделов полностью совпадают (Проект..., 1986), что

подтверждает их общую природную основу в прошлом. В результате исторических рубок до организации заповедника были нарушены контуры природного распределения растительности, что подтверждается сравнением геоботанической карты Б.Н. Норина (1978), отражающей 7 коренных природных геоботанических категорий, с планом лесонасаждений, на котором в пределах экологического профиля находится 11 выделов, часть из которых является производными от природных коренных сообществ.

Изреженность древостоя, как результат действия антропогенного фактора, в историческом прошлом, не менее сильно повлияла на последующее поступление тепла к поверхности почвы и значительно снизила конкуренцию корневого питания лиственницы в самом северном в мире лесном острове Ары-Мас, что не могло не сказаться на приросте оставшихся деревьев вдоль экологического профиля.

Полученные нами древесно-кольцевые хронологии согласуются с построенными для Ары-Мас ранее Н.В. Ловелиусом (1998) (рис. 5) и М.М. Наурзбаевым (2003) (рис. 6).

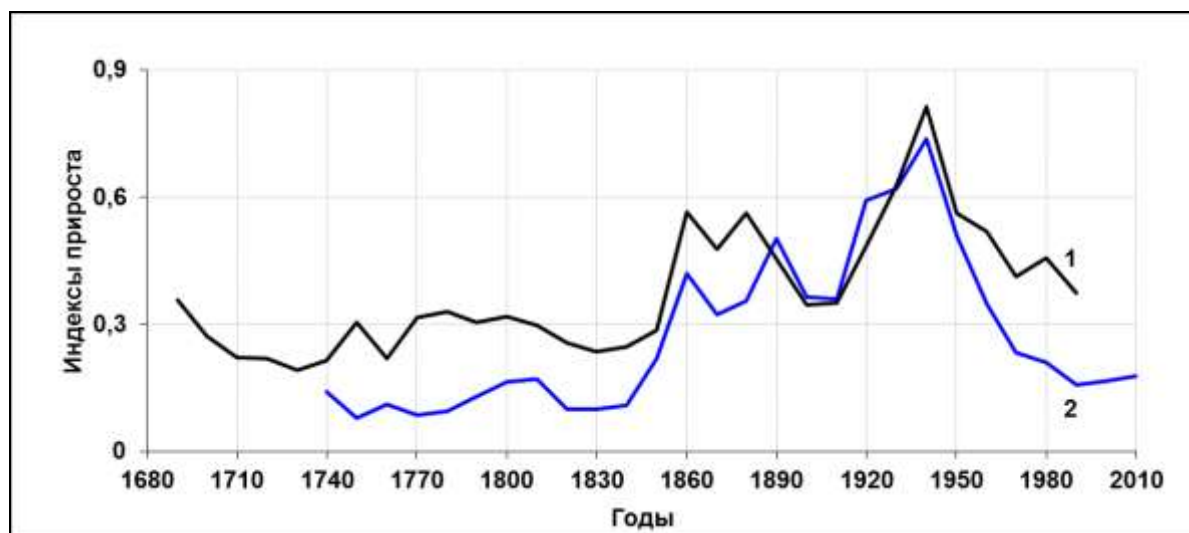


Рис. 5. Дендрограмма *Larix gmelinii* в лесном острове Ары-Мас по данным Н.В. Ловелиуса (1998) (1) и по нашим данным (2). Корреляция двух изображенных рядов в период с 1744 по 1996 составляет 0,87

Поскольку наша хронология была получена по более молодым деревьям, амплитуда динамики прироста этих деревьев была больше. И период в середине XX в., называемый «потеплением Арктики», выражен у них ярче. При этом последние десятилетия прошлого века демонстрируют большое подобие и не содержат тренда, который должен был бы отражать «глобальное потепление». Это обстоятельство было отмечено М.М. Наурзбаевым (2005) на конец прошлого века, но ситуация продолжает и дальше развиваться в том же направлении и радиальный прирост лиственницы по-прежнему не имеет выраженной реакции на увеличение температуры воздуха в Северном Полушарии. Наблюдаются только отличия в ширине годичных колец у деревьев, занимающих разные ценоотические позиции: в редицах, редколесьях и у одиночно стоящих деревьев на пределе их распространения.

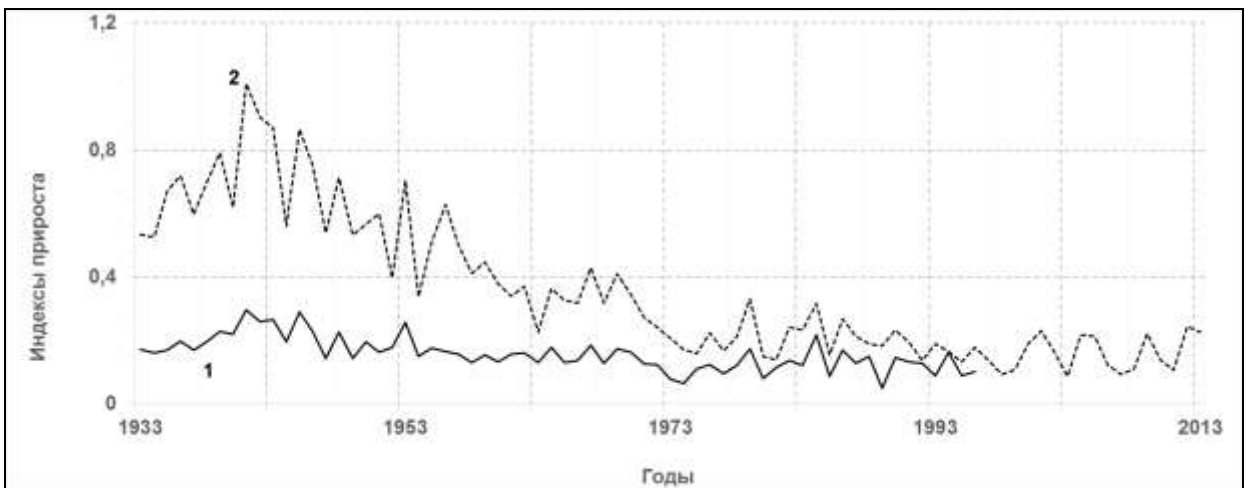


Рис. 6. Дендрограммы лиственницы Гмелина в лесном острове Ары-Мас по данным М.М. Наурзбаева (Леви и др., 2003) (1) и по нашим данным (2). Корреляция двух рядов составляет 0,89.

На рис.7 представлены наши данные по динамике ширины годовых колец лиственниц из редины и редколесий. Видно, что до середины 1950-х гг. наибольшим приростом характеризовались древостои редколесий, а со второй половины 1950-х гг. и до настоящего времени максимальный прирост наблюдается в рединых.

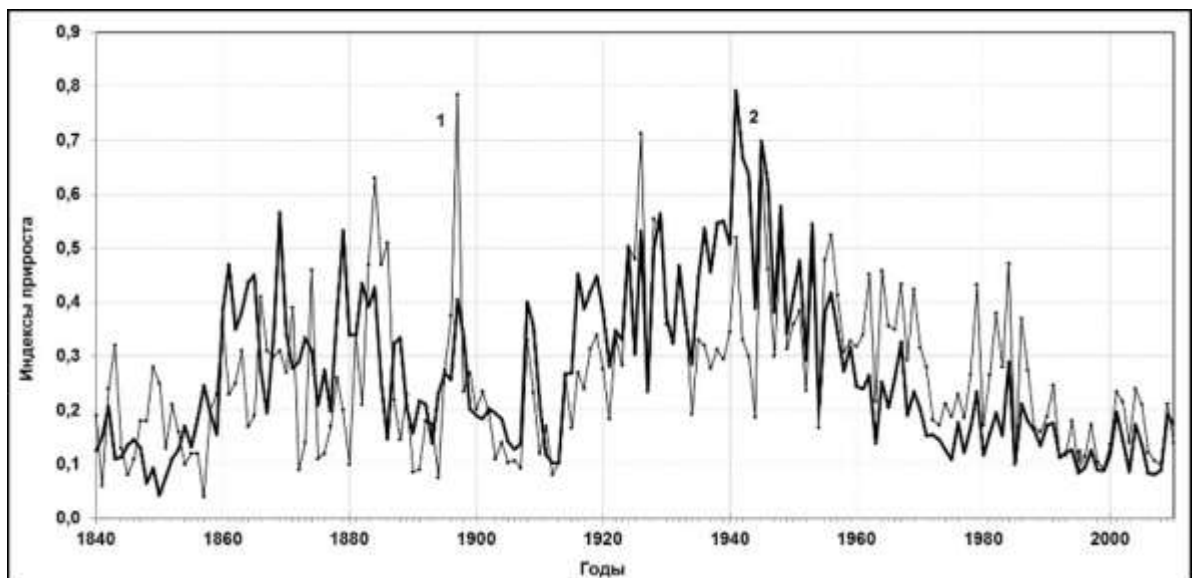


Рис. 7. Многолетняя динамика прироста ширины годовых колец древесины лиственницы Гмелина в рединых (1) и редколесьях (2) урочища Ары-Мас

Сравнение среднемесячных температур двух периодов – с момента начала наблюдений до середины 1950-х гг. и с середины 1950-х гг. до 2010 г. не демонстрирует каких-либо радикальных различий в величине и годовом распределении (рис. 8). Это доказывает, что температура воздуха не могла послужить фактором, вызвавшим различия в радиальном приросте лиственницы в редколесьях и рединых Ары-Мас.

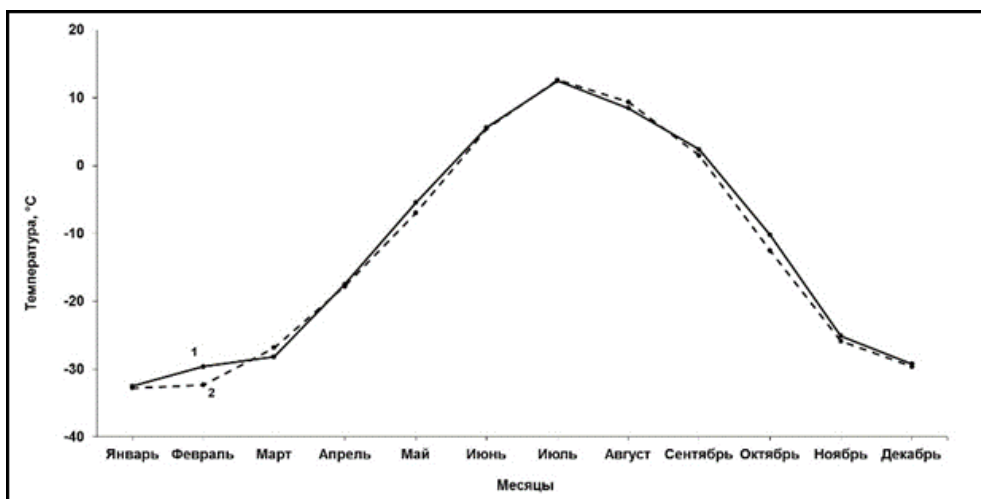


Рис. 8. Среднемесячная температура воздуха за периоды 1934-1953 гг. (1) и 1954–2010 гг. (2) (по данным метеостанции «Хатанга»)

Расчёт корреляционной связи радиального прироста деревьев с июньской и июльской температурой воздуха показал, что коэффициенты корреляции этих параметров статистически значимы только для июля ($r = 0,34$ в редколесьях и $r = 0,47$ в редилах). В то же время, нами была обнаружена очень значимая отрицательная связь величины радиального прироста и суммы выпавших осадков за период с отрицательными температурами (сентябрь-май): коэффициент корреляции составил $-0,60$ для редколесий и $-0,47$ для редин (рис. 9).

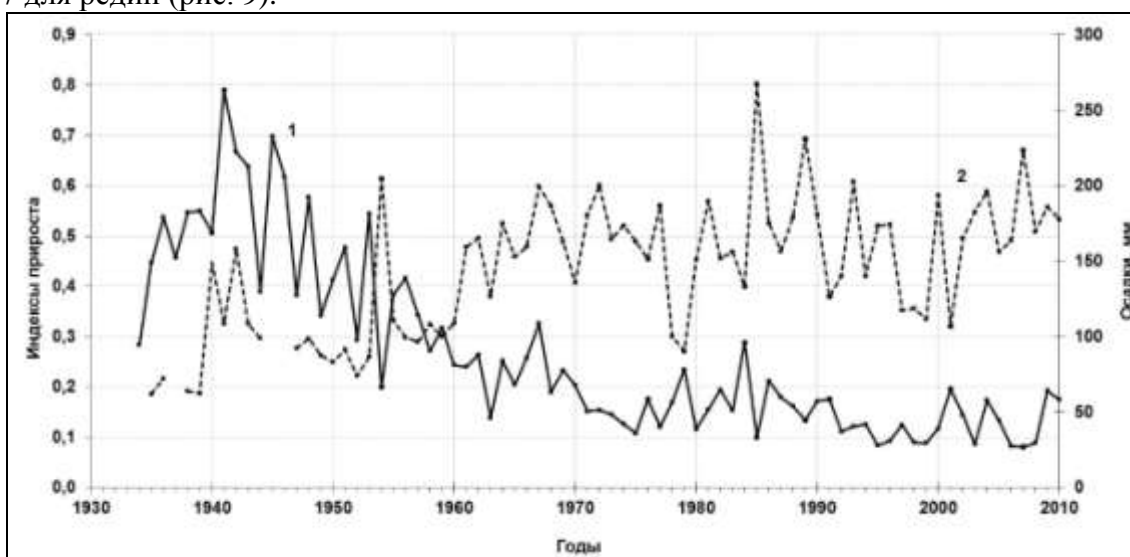


Рис. 9. Многолетняя динамика радиального прироста древесины лиственницы Гмелина в редколесьях урочища Ары-Мас (1) и суммы осадков, выпадающих на территории за период с отрицательными температурами воздуха (сентябрь-май) (2) (по данным метеостанции «Хатанга»).

Для подтверждения полученных результатов мы провели анализ метеоданных в год аномального прироста и за предшествующий ему год. Это дало возможность рассмотреть влияние фактора за 24 месяца, охватывающих два вегетационных периода и период покоя между ними, а также определить его разницу накануне и в годы с наибольшим и наименьшим приростом годичных колец

Выявление периодов с наибольшими и наименьшими приростами годичных колец у лиственницы предварительно определялось по дендрограмме (рис. 10). Были установлены годы аномально высоких и низких приростов. Годы максимумов: 1941, 1953, 1970, 1979, 1984, 1990, 2001. Годы минимумов: 1954, 1963, 1975, 1981, 1998, 2003, 2007.

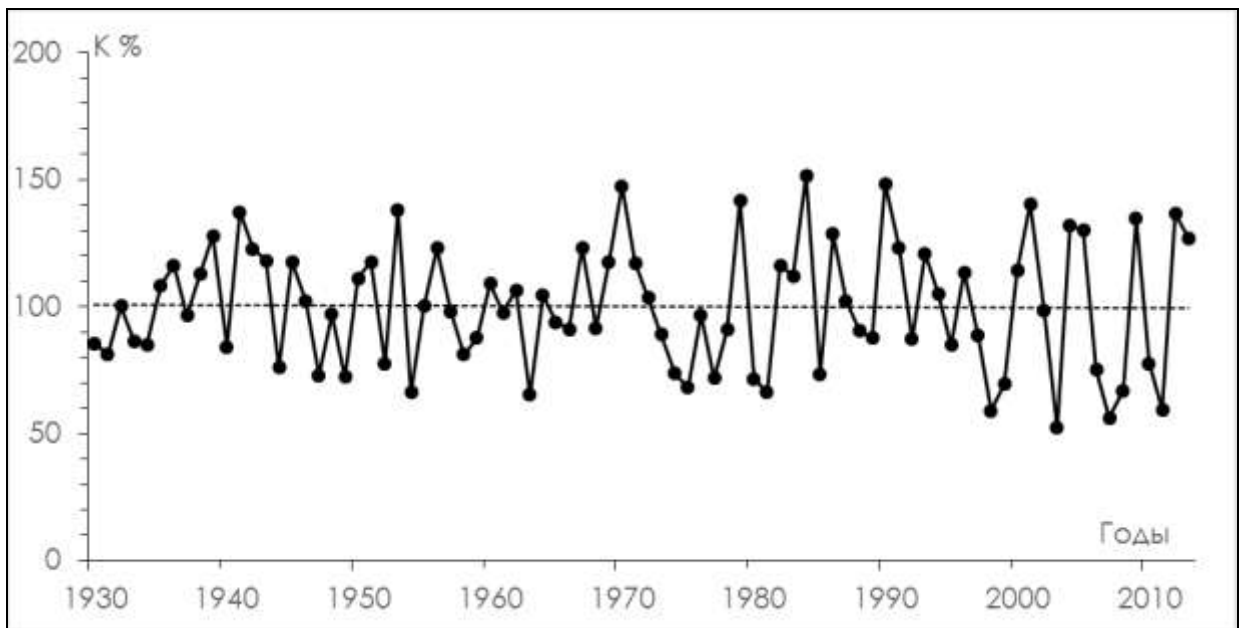


Рис. 10. Отклонения от 10-летней календарной нормы радиального прироста лиственницы Гмелина в редколесьях «Ары-Маса» (1730-2013 гг.)

Для того, чтобы проследить реакцию деревьев на изменения температуры воздуха и осадков, был проведён анализ их месячных данных (для температуры – средних, для осадков – суммарных) в год аномального прироста (отклонение от среднего прироста на 1σ и более) и за предшествующий ему год.

Анализ температуры воздуха с нарастающим итогом позволяет проследить её как непрерывный процесс прогревания и выхолаживания территории накануне и в годы аномалий. В связи с особенностями географического положения территории, период с положительными температурами здесь охватывает только летние месяцы. Среднемесячная температура июля: +12,7°C, января: -32,6°C. Из рис. 11А следует, что в год положительной аномалии радиального прироста высокие температуры в летний период и низкие в весенний сказываются благоприятно на приросте лиственницы. Температуры воздуха в предшествующий год явного влияния на прирост в годы аномалий не обнаруживают.

Накануне и в годы минимального прироста выпадает наибольшее количество осадков (270 мм). Максимум осадков приходится на август и июль соответственно (рис. 11Б). Видно, что наибольшую отрицательную роль играют осадки, выпавшие с августа предшествующего года по июль аномального года. Годы наибольшего прироста и предшествующие годы характеризуются меньшим годовым количеством осадков (250 и 260 мм соответственно).

Таким образом, для наибольшего прироста благоприятными условиями на исследуемой территории является тёплое и сухое лето. Минимум снежных осадков в период накануне вегетации также является положительным фактором, а значительный отрицательный эффект несут осадки июля.

До середины 1950-х гг. наибольшим приростом характеризовались древостои редколесий, а со второй половины 1950-х гг. XX в. и до настоящего времени максимальный прирост наблюдается в редианах. Наиболее вероятной причиной этого стало увеличение мощности снегового покрова в редколесьях и более позднее его разрушение по сравнению с редианами, из-за чего стартовые условия для ксилогенеза в раннелетний период здесь существенно ухудшились.

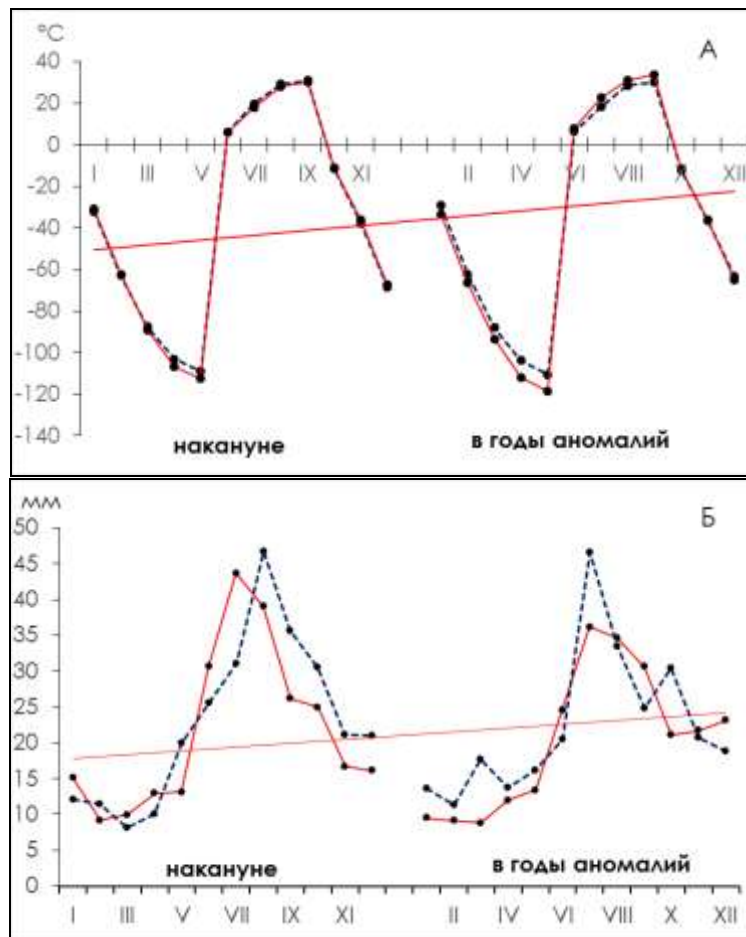


Рис. 11. Температура воздуха с нарастающим итогом (А) и месячная сумма осадков (Б) в годы с наибольшим (сплошная линия) и наименьшим (пунктирная линия) приростом годичных колец лиственницы.

Шестая глава «Лесовозобновление в лиственничниках Ары-Мас».

Наиболее актуальным вопросом в исследовании северных лесов является изучение их возрастной структуры и способности к возобновлению. В августе 2011 г и 2013 г на пробных площадях экологического профиля в редколесье и редине был произведен учет возобновления и измерен годичный линейный прирост (прирост в высоту) подростка лиственницы максимум до 2006 года (табл. 2).

По параметрам линейного прироста подрост лиственницы в редколесьях существенно отличается в худшую сторону (рис. 12). А у отдельно стоящих деревьев показатели линейного прироста самые лучшие. Это согласуется с нашими данными по температуре почвы на экологическом профиле.

Таблица 2. Линейный и радиальный прирост подростка лиственницы Гмелина в редине (РД), редколесье (РЛ) и у отдельно стоящих деревьев (Т) лесного острова Ары-Мас (2006-2013 гг.)

Годы	Линейный прирост, см			Радиальный прирост, мм		Средние величины	
	РЛ	РД	Т	РЛ	РД	Лин.	Рад.
2006	2,8		3,2	0,21	0,28	2,8	0,25
2007	2,7	3,0	5,4	0,12	0,19	2,9	0,15
2008	2,9	4,2	4,5	0,09	0,14	3,6	0,12
2009	2,3	4,4	10,1	0,11	0,11	3,4	0,11
2010	4,0	7,0	7,6	0,22	0,25	5,5	0,24
2011	3,0	5,2	8,0	0,14	0,14	4,1	0,14
2012	2,9	5,0		0,11	0,10	3,9	0,10
2013	4,6	8,3		0,24	0,29	6,5	0,27

Напомним, что из-за более раннего протаивания вегетационный период в редицах начинается на две недели раньше и температура почвы весь вегетационный период бывает выше, чем в редколесьях.

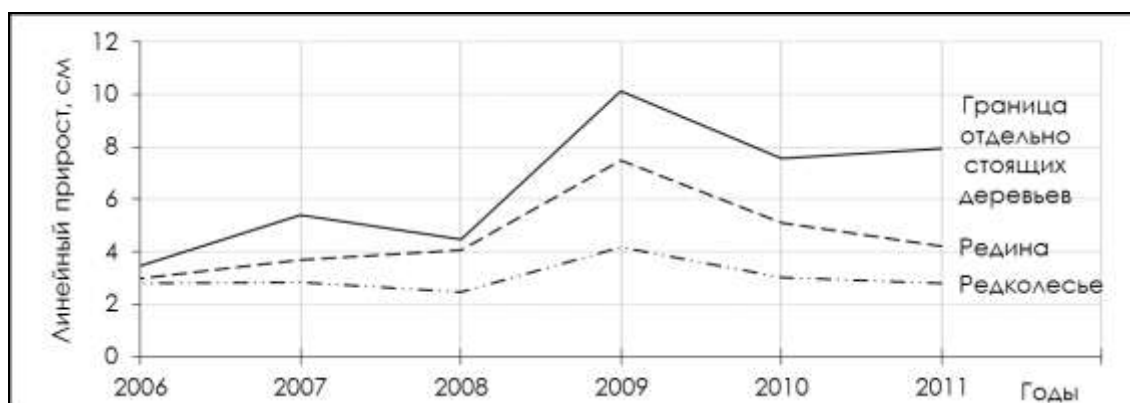


Рис. 12. Линейный прирост подроста *Larix gmelinii* в лесном острове Ары-Мас

На пробных площадях 11 августа 2011 года со средних деревьев были собраны все шишки (урожая этого года и прошлых лет). Из каждой пробы в случайном порядке было выбрано и промерено 30 шишек по следующим параметрам - длина (L), см и наибольший диаметр (d), см. (табл. 3). Отдельно из каждой пробы, также в случайном порядке выбраны и взвешены семена в количестве 1000 шт. Лучшими параметрами выделялись шишки, отобранные на пробной площади №2 в редине. Масса 1000 семян была там в 2-3 раза больше, чем в редколесьях. Соответственно, более полноценные семена могут дать более здоровое и многочисленное возобновление.

Природные особенности района исследований обусловили крайне высокую зависимость древесной растительности от изменчивости ведущих климатических факторов – температуры воздуха и количества атмосферных осадков (Ловелиус, 1979; Наурзбаев и др., 2003). Как было установлено, на протяжении XX в. в лиственничниках Ары-Мас чётко выделяются две волны возобновления (Наурзбаев и др., 2003; Рудинский, 2014). Первое массовое возобновление лиственницы произошло в середине 1950-х, а второе – в первой половине 1980-х гг. (рис. 13).

Таблица 3. Морфометрические параметры шишек *Larix gmelinii* в лесном острове Ары-Мас.

№ п/п	№1, пробная площадь №1		№2, пробная площадь №1		№3, пробная площадь №2		№4, пробная площадь №2		№5, пробная площадь №8	
	L	d	L	d	L	d	L	d	L	d
1	1,47	1,66	1,43	1,14	2,37	1,80	1,82	1,53	1,77	1,65
2	1,54	1,86	1,44	1,18	2,86	2,29	1,72	1,95	1,86	1,53
29	1,90	1,33	1,47	1,26	1,72	1,40	1,70	1,37	1,48	1,56
30	1,33	1,37	1,61	1,67	2,05	1,53	1,55	1,27	1,78	1,56
min	1,30	1,33	1,27	1,00	1,12	1,14	1,23	1,06	1,07	1,25
max	2,06	2,29	1,92	1,86	3,38	2,51	1,87	1,95	1,93	1,78
Среднее	1,70	1,84	1,51	1,47	2,30	1,84	1,62	1,40	1,53	1,51
Шишек 2011г	39		330		413		475		88	
Шишек прошлых лет	258		-		218		182		491	
Масса шишки, г	0,399		0,293		0,946		0,247		0,284	
Масса семян (1000 шт), г.	1,30		1,50		2,70		1,40		0,80	

В указанные периоды при синхронном увеличении температуры и уровня атмосферного увлажнения в зимний период создались условия для появления подроста, которые были успешно реализованы. Более мощный снежный покров позволил появившимся всходам успешно перезимовать. Напротив, в периоды синхронного понижения температуры и уменьшения зимних атмосферных осадков во второй половине 1950-х и 1970-х гг. темпы лесовозобновления резко снижались.

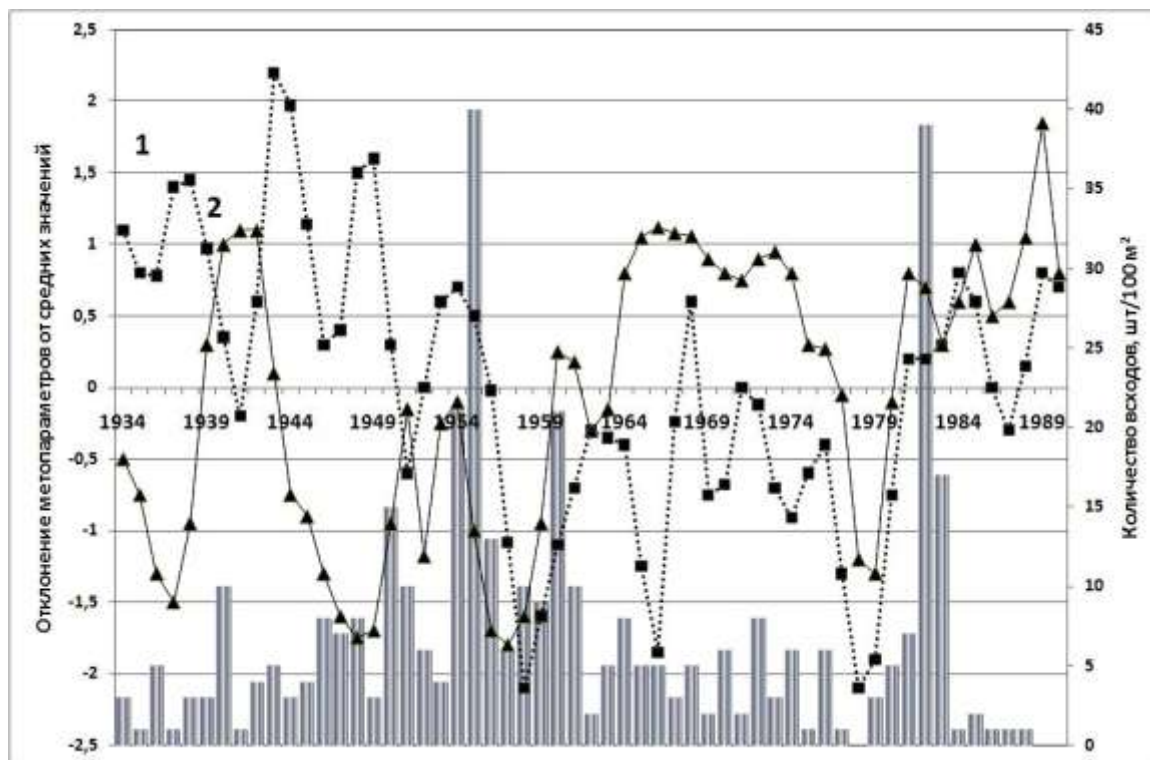


Рис. 13. Диаграмма динамики возобновления лиственницы в урочище Ары-Мас на фоне динамики температуры воздуха (1) и уровня атмосферного увлажнения (2)

Лесорастительные условия определяются комплексом взаимосвязанных факторов и процессов. Основным, определяющими во многом и действие других факторов, является баланс тепла и влаги. Существенно возрастание количества осадков в зимний период, а вместе с тем и мощности снегового покрова, меняет этот баланс. В зоне распространения вечной мерзлоты снежный покров важен не только как источник влаги в весеннее время, но и как теплоизолирующий экран, который предохраняет почву от чрезмерного охлаждения (Поздняков, 1986). В. В. Рахманов (1984) отмечает различия характеристик снежного покрова на открытых местностях (поля, вырубки) и лесных участках. На территории наших исследований также можно условно выделить открытые и закрытые пространства, если за таковые соответственно принять редины и редколесья.

Большое количество осадков в зимний период имеет двойственное значение для лесовозобновления и не всегда можно считать благом. С одной стороны мощный снежный покров предохраняет всходы от вымерзания зимой. Но, с другой стороны, из-за позднего схода снежного покрова вегетационный период деревьев начинается позднее, что приводит к снижению физиологической активности деревьев и неблагоприятно сказывается на лесовозобновительных процессах. Дополнительным негативным моментом может являться чрезмерная увлажненность деятельного слоя почвы при таянии мощного снежного покрова в плохо дренируемых местоположениях.

Ещё одной косвенной причиной, вызвавшей различия в лесорастительных условиях, может также являться различная мощность мохового покрова в редколесьях и редирах. Меньшая мощность мохового покрова в редирах обуславливает его более слабое термоизолирующее влияние и лучшую прогреваемость верхних слоёв почвы, а значит,

улучшает условия для развития корневой системы и обеспечения древесных растений элементами питания. В редколесьях же при более развитом моховом покрове уровень мерзлоты находится ближе к корнеобитаемому слою, что ухудшает условия питания деревьев.

ВЫВОДЫ

1. Сравнение среднемесячных температур двух периодов – с момента начала метеонаблюдений на ГМС «Хатанга» в 1934 г. до середины 1950-х гг. и с середины 1950-х гг. до 2010 г. не демонстрирует каких-либо радикальных различий в их величине и годовом распределении. В соответствии с этим радиальный прирост лиственницы не имеет выраженной тенденции к увеличению в лиственничниках Восточного Таймыра в последние десятилетия. Наблюдаются только отличия в радиальном приросте у деревьев, занимающих разные ценоотические позиции: в редилах, редколесьях и у одиночно стоящих деревьев на пределе их распространения. Установлено существенное изменение структуры атмосферного увлажнения района исследований в последние 50–60 лет. В результате роста количества осадков и внутригодового их перераспределения произошло заметное увеличение мощности снегового покрова, особенно в редколесьях лиственницы.

2. До середины 1950-х гг. наибольшим приростом характеризовались древостои редколесий, а со второй половины 1950-х гг. XX века и до настоящего времени максимальный прирост наблюдается в редилах. Наиболее вероятной причиной этого стало увеличение мощности снегового покрова в редколесьях и более позднее его разрушение по сравнению с редилами, из-за чего стартовые условия для ксилогенеза в раннелетний период здесь существенно ухудшились. Ещё одной косвенной причиной, вызвавшей различия в лесорастительных условиях, может также являться различная мощность мохового покрова – меньшая мощность мохового покрова в редилах обуславливает его более слабое термоизолирующее влияние и лучшую прогреваемость верхних слоёв почвы, а значит, улучшает условия для развития корневой системы и обеспечения древесных растений элементами питания. В редколесьях же при более развитом моховом покрове уровень мерзлоты находится ближе к корнеобитаемому слою, что ухудшает условия питания.

3. Благоприятными условиями для лучшего радиального прироста лиственницы на исследуемой территории является тёплое и сухое лето. Минимум снежных осадков в период накануне вегетации также является положительным фактором, а значительный отрицательный эффект несут осадки июля.

4. На протяжении XX века в лиственничниках Ары-Мас дважды происходило массовое возобновление лиственницы: первое в середине 1950-х, второе – в первой половине 1980-х гг. Эти периоды чётко зафиксированы и в динамике ширины годичных колец лиственницы в редилах и редколесьях. Несмотря на существенные различия в приросте древесины деревьев из редин и редколесий, для тех и других характерно повышение ширины годичных колец в эти же периоды.

Благодарности

Автор благодарит научного руководителя д.б.н. Воронина В.И. (СИФИБР СО РАН); д.б.н., профессора МГУ Голубеву Е.И., за предоставление температурных датчиков; за консультацию по теме исследования: к.б.н. Карбаинова Ю.М., д.б.н. Ловелиуса Н.В., д.с.-х.н. Зиганшина Р.А., к.б.н. Осколкова В.А.; коллег: к.б.н. Поспелову Е.Б., Поспелова И.Н., к.б.н. Федосова В.Э., к.г.н. Мокринца К.С. за систему консультаций по организации и проведении экспедиционных и камеральных исследований; заслуженного штурмана СССР Удалова В.А. за оказанную поддержку.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Рудинский М. Г. Факторы, определяющие радиальный прирост лиственницы на северном пределе распространения (массив Ары-Мас, п-ов Таймыр) // Известия ИГУ. Серия «Биология. Экология», – 2014. – Т. 6, № 3. – С. 34–41.
2. Рудинский М.Г. Возобновление лиственницы на северном пределе распространения (массив Ары-Мас, п-ов Таймыр) // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; url: <http://www.science-education.ru/120-15687> (дата обращения: 02.12.2014).
3. Рудинский М. Г. Экологический профиль в самом северном в мире лесном острове Ары-Мас // Заповедники Российской Арктики: проблемы и пути решения. Материалы научно-практической конференции, посвященной 25-летию Государственного природного заповедника «Усть-Ленский» (п. Тикси Республики Саха (Якутия), декабрь 2010 г.). – М.: Принтком. – 2010. – С. 112-116.
4. Рудинский М. Г. К истории поселений на Восточном Таймыре // Таймырские чтения – 2011: сб. докладов. Ч. 2 / науч. ред. Е. В. Майорова; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2011. – С. 5-7.
5. Рудинский М. Г. История изучения самого северного в мире лесного острова Ары-Мас // Таймырские чтения – 2011: сб. докладов. Ч. 2 / науч. ред. Е. В. Майорова; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2011. – С. 8-13.
6. Рудинский М. Г. К влиянию исторических рубок на изменение распределения растительности в лесном массиве «Ары-Мас» // География, история и геоэкология на службе науки и инновационного образования: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Красноярского отделения Русского географического общества и Всемирному дню Земли в 2 т. / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева. – Красноярск, 2011. – Т. 2. – С.170-172.
7. Рудинский М. Г. Возрастная структура лиственничников лесного острова Ары-Мас (Таймыр) // Биологические исследования в Сибири: Тезисы Всероссийской научной конференции, посвященной 50-летию организации СИФИБР СО РАН (Иркутск, 12-14 сентября 2011 г.). – Иркутск: Издательство Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2011. – С. 36-37
8. Рудинский М. Г., Левицкая В. А. Ары-Мас – феномен природных лесов // Таймырские чтения – 2012: сб. докладов. Ч. 2 / науч. ред. Е. В. Майорова; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2011. – С.114-116.