

УДК 630\*182.2(571.54)

## ТЕНДЕНЦИИ ДИНАМИКИ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА В ВЫСОКОГОРЬЯХ СЕВЕРНОГО ПРИБАЙКАЛЯ

В. И. Воронин, В. А. Осколков, В. А. Буянтуев, А. П. Сизых

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132

E-mail: bioin@sifibr.irk.ru, vosk@sifibr.irk.ru, vbwalter@yandex.ru, alexander.sizykh@gmail.com

Поступила в редакцию 29.01.2016 г.

Проведены исследования пространственно-временной изменчивости верхней границы леса северо-западного побережья оз. Байкал (Байкальский и Верхнеангарский хребты) на основе анализа процессов лесовозобновления и динамики радиального прироста лиственницы в экотоне верхней границы леса и за ее пределами. Большое количество развитых каров и цирков с существенными перепадами высот в строении горной системы способствует формированию прерывистой границы леса и подгольцового пояса. Древостой верхней границы леса в районе исследований представлен лиственницей даурской. Получены три древесно-кольцевые хронологии лиственницы. Самая длительная хронология получена для горно-таежного пояса Байкальского хребта – свыше 460 лет. Начиная с 1980-х гг. наблюдается устойчивый тренд увеличения радиального прироста деревьев. Наиболее отчетливо он прослеживается у деревьев верхней границы леса Байкальского хребта. Отмечается продвижение древесных пород в подгольцовый пояс и горную тундру, которое зависит от высот, экспозиции и уклона склонов, а также мест произрастания конкретных сообществ. Современной особенностью растительности района исследований является обильный жизнеспособный подрост лиственницы (возраст от 2–3 до 25 лет) и пихты в экотоне верхней границы леса и в подгольцовом поясе, а также появление отдельных экземпляров ели. Основная масса подроста (2/3) представлена деревьями, средний возраст которых 15–25 лет, т. е. они появились в конце 1980-х гг. В результате увеличения мощности снежного покрова в зимний период всходы деревьев получили большую защиту от вымораживания, в результате чего возросла способность подроста доживать до старших возрастов.

**Ключевые слова:** экотон верхней границы леса, лиственница даурская, лесовозобновление, радиальный прирост, Северное Прибайкалье.

DOI: 10.15372/SJFS20160408

### ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени накоплен большой объем информации об изменениях биосферы под влиянием происходящих климатических изменений, которые обобщены в материалах межправительственной группы экспертов по проблемам изменения климата (IPCC, 2014). Наряду с прочими отмечаются и структурные изменения различных растительных зон. Так, в ряде мест Северной Евразии происходит продвижение лесов в зону тундры (Харук и др., 2004), на Алтае и Урале зарегистрирован подъем верхней границы леса (Тимошок и др., 2003; Капралов и др., 2006; Шиятов, 2009; Моисеев и др., 2010). От-

мечена динамика и южной границы леса, однако оценки направленности этой динамики неоднозначны. В настоящее время в разных районах Сибири происходит интенсивное продвижение леса в зону степей (Sizykh, Voronin, 2013). Согласно прогнозным моделям, в ближайшие годы здесь должна получить развитие противоположная тенденция и зона степей может значительно расшириться (Rehfeldt et al., 2003; Tchebakova et al., 2005). Неоднозначность ситуации в данном случае, вероятно, обусловлена предыдущим хозяйственным освоением зоны степей и лесостепей, в результате чего граница леса оказалась искусственно смещенной. Поэтому сейчас не совсем ясно, возвращается ли лес на свои исто-

рические рубежи или климатические изменения благоприятствуют его продвижению в степную зону. Например, в ряде районов европейских Альп, в горных районах финской Лапландии, в горах Шотландии верхняя граница леса сейчас только выходит на рубежи, откуда лес был вытеснен человеком (Oksanen et al., 1995; Aas, Faarlund, 1996; Holtmeier, 2003).

Растительные сообщества экотонов отражают как историю былых воздействий климатических условий, так и тренд их будущих изменений (Шиятов, Горчаковский, 1985; Holtmeier, 1995; Payette et al., 2001; Holtmeier, Broll, 2005), поэтому могут рассматриваться как некие оперативные и достоверные индикаторы процесса «глобального потепления». Верхняя граница леса представляет собой удобный полигон для изучения климатически обусловленных сдвигов поясов растительности, поскольку деревья здесь реагируют однозначно на изменение температуры (Шиятов, Горчаковский, 1985), хозяйственная деятельность в высокогорье чаще всего отсутствует и продвижение границы леса происходит на расстояние в десятки–сотни метров, что значительно облегчает мониторинг этого процесса. Как отмечают Е. Г. Зибзеев и В. П. Седельников (2010), «наиболее информативными являются верхние пределы распространения лесной растительности (сомкнутость выше 0.4) и отдельных деревьев» (с. 47).

В экотоне верхней границы лес наступает не сплошным фронтом, но продвигается в наиболее благоприятные местообитания при существующих климатических условиях (Holtmeier, Broll, 2005). И если зональные и поясные изменения растительности характеризуются значительной инерционностью, то в экотонах вследствие экотонного эффекта они происходят с большим динамизмом. В переходной зоне между биотопами любые изменения мультиплицируются, поскольку экотон отражает состав обоих контактирующих структур. Это позволяет в относительно короткие сроки определить вектор развития растительности обширных территорий (зон, высотных поясов). Полученная информация является репрезентативной для крупных обобщений.

Таким образом, исследования верхней границы леса позволяют получить обоснованное представление о происходящих изменениях растительности крупных территорий (в нашем случае в бассейне оз. Байкал) и дадут возможность оценить вероятность реализации существующих прогнозов «глобального потепления».

Цель наших исследований – оценка интенсивности и временной динамики лесовозобновления в экотоне верхней границы леса и в подгольцовом поясе, а также изменение радиального прироста лиственницы за последние десятилетия.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведены исследования пространственно-временной изменчивости верхней границы леса северо-западного побережья оз. Байкал (Байкальский и Верхнеангарский хребты). В качестве модельной территории на Байкальском хребте принят водораздел рек Грамна и Гоуджекит в районе перевала Даван (координаты центра обследованной территории в десятичных градусах N 55.847614°; E 108.920619°), где проведено изучение процессов лесовозобновления и динамики радиального прироста лиственницы в экотоне верхней границы леса и за ее пределами. Среднегодовая температура здесь составляет  $-3.2$  °C, а годовая сумма атмосферных осадков существенно превышает 1000 мм. Снежный покров сохраняется до 8–10 мес. Вегетационный период длится с середины июня до конца августа и в среднем продолжается от 70 до 80 дней (Касьянова, 2004).

Также обследованы высокогорья Верхнеангарского хребта на ключевом участке в верховье р. Сырой Молокон (координаты центра обследованной территории в десятичных градусах N 55.839178°; E 109.525641°).

На ключевых участках сделаны геоботанические описания. Осуществлен отбор буровых образцов лиственницы как в экотоне верхней границы леса (не менее чем у 20 деревьев), так и в подгольцовом поясе у отдельных деревьев, которые там успешно закрепились. По отобраным образцам древесины после измерения ширины годичных колец с применением автоматизированной системы LINTAB ( $\pm 0.01$  мм) построены индивидуальные древесно-кольцевые хронологии (ИДКХ), которые перекрестно датировали методом *cross-dating* в программном пакете TSAP. В процессе перекрестной датировки устанавливали точную календарную дату каждого годичного кольца исследуемых ИДКХ. Стандартизация абсолютных (измеренных) величин радиального прироста осуществлялась программой R из программного пакета Detrender (Campelo et al., 2012). Она представляет собой процедуру подавления эффекта возрастной кри- вой роста фильтрацией низкочастотной состав-

ляющей в многолетних колебаниях прироста методом модифицированной негативной экспоненты. Стандартизированные ИДКХ, имеющие достаточную корреляционную связь с таковыми из всего полученного арсенала древесно-кольцевых хронологий, объединяли в обобщенную древесно-кольцевую хронологию (ОДКХ), которая отражала уже реакцию всей популяции деревьев, произрастающих в районе исследования.

Учет возобновления осуществляли на временных учетных площадках размером 50×50 м и 100×100 м по ступеням высоты подроста 0–50 см, 51–100, 101–150, 151–200 и выше 200 см. В каждой ступени высоты устанавливали средний возраст подроста: случайным образом для каждой из них отбирали по 10 образцов молодых деревьев, у которых определяли возраст и затем рассчитывали среднее значение.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В высокогорьях водораздела рек Грамна и Гуджекит выделены основные растительные сообщества, геоботанические описания которых приведены ниже.

Горно-таежный пояс, высота 1400 м над ур. м. Экспозиция склона северо-западная. Повсеместно отмечается ярусная структура лесных сообществ, где I ярус составляют *Larix dahurica* Turcz. ex Trautv и *Abies sibirica* Ledeb., II – *Pinus sibirica* Du Tour, *Abies sibirica*, *Larix dahurica* (часто *Betula* sp.). Подлесок образуют *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar и *Betula* sp. В подросте доминируют *Abies sibirica* и *Larix dahurica* в разных количественных соотношениях (вариациях) в зависимости от занимаемого положения – экспозиции склона. На высоте около 1500 м над ур. м. *Larix dahurica* монополюбно образует верхнюю границу леса, а отдельные особи репродуктивного возраста проникают в подгольцовый пояс.

В подгольцовом поясе доминирует *Pinus pumila* (Pall.) Regel с участием *Betula* sp., *Rhododendron aureum* Georgi, *Bergenia crassifolia* L. и *Vaccinium vitis-idaea* L. Характерны *Dicranum polysetum* Sw., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr., являющиеся эдификаторами напочвенного покрова темнохвойной зональной тайги. Они повсеместно образуют куртины между камней (курумов). Также повсеместно отмечены некоторые виды лишайников родов *Cladonia* и *Cetraria*.

По типам геоэлемента (типам ареалов) и экотипологическому составу (экотипам) основу

видового состава растений образуют мезофиты евро-сибирского, евро-азиатского, южно-сибирского, циркумполярного (бореального голарктического) и маньчжуро-даурского геоэлементов темнохвойно- и светлохвойно-лесной поясной зональных групп, что отражает высотную поясность в структуре растительности гор Юга Сибири. Древостой экотона верхней границы леса в районе исследований на положительных формах рельефа представлен исключительно лиственницей даурской и имеет распространение до ~1500 м над ур. м. (рис. 1).

По отрицательным формам рельефа верхняя граница леса снижается до высот 1400–1450 м над ур. м. и в составе древостоя помимо лиственницы могут присутствовать единичные деревья пихты сибирской. Продвижение древесных пород в подгольцовый пояс и горную тундру зависит от высоты, экспозиции и крутизны склонов мест произрастания конкретных сообществ. Часто по гребням отрогов Байкальского хребта древесные породы заходят глубоко (иногда до сотен метров) в подгольцовый пояс.

Граница леса особенно четко прослеживается по склонам южных экспозиций, тогда как на «теневых» склонах граница леса и горной тундры носит прерывистый характер. Значительную роль в этом играет мощность снежного покрова, которая в пониженных формах рельефа существенно больше из-за перераспределения снега метелевым переносом. Иногда в карах и цирках высота снежного покрова достигает 5–7 м и снежники там сохраняются длительное время. Например, 20 июня 2011 г. мощность снежного покрова в одном из каров рядом с оз. Гуджекит в среднем составляла 90 см. Окончательное разрушение снежного покрова в таких местах происходит только в начале июля, что существенно сокращает и без того небольшой период вегетации растений.

Древесная растительность в таких местах отсутствует, и это приводит к прерывистости верхней границы леса. В депрессиях рельефа на «солнцепечных» склонах ситуация иная, и там, напротив, отмечены возрастание продуктивности древостоев и обильное возобновление.

Таким образом, наличие в строении горной системы большого количества развитых каров и цирков с существенными перепадами высот способствует формированию прерывистой границы леса и подгольцового пояса. Более всего это соответствует куртинно-линейному структурному типу экотона (Зибзеев, Седельников, 2010), который характерен для осевой части Алтае-



**Рис. 1.** Верхняя граница леса в районе перевала Даван (северная оконечность Байкальского хребта), верховье р. Гоуджекит. Справа на переднем плане лиственница репродуктивного возраста в подгольцовом поясе.



**Рис. 2.** На переднем плане молодая генерация лиственницы. На заднем плане молодая лиственница (ключевой участок GOU5), у которой были отобраны буровые керны (высота 1520 м над ур. м.).

Саянской горной страны и характеризует переход от гумидных к субгумидным высокогорьям, но в данном регионе имеет свои особенности. В частности, в составе верхней границы леса нет кедра и только местами присутствует пихта.

Современной особенностью растительности района исследований является обильный жизнеспособный подрост лиственницы (возраст от 2–3 до 25 лет) и пихты. Единичные деревья лиственницы и пихты вторгаются в пределы подгольцового пояса (в большей степени на «солнцепечных» склонах), а иногда молодые лиственницы встречаются и среди горной тундры (рис. 2).

Появившись и закрепившись в благоприятные по климатическим условиям годы в подгольцовом поясе и отчасти в поясе горных тундр, молодые деревья создают предпосылки для вертикального смещения верхней границы леса на более высокие отметки (Шиятов, 2009). Через 20–40 лет такие деревья вступают в репродуктивный возраст и вокруг них формируются куртинки и островки редин и редколесий.

Единичные деревья, растущие на 50–100 м выше сомкнутых насаждений, угнетенные, но плодоносят и являются тем материалом, за счет которого начинают формироваться лесные сообщества при улучшении климатических условий (Зибзеев, Седелников, 2010).

На ключевом участке GOU5 в подгольцовом поясе (N 55.843370°, E 108.923368°, высота 1540 м над ур. м., площадь 50 × 50 м) в результате учета возобновления обнаружены 26 молодых деревьев лиственницы и одна пихта. Основная масса подроста (2/3) представлена деревьями, средний возраст которых 15–25 лет, т. е. они появились в конце 1980-х гг. Возраст пихты 12 лет. В текущем столетии изменение температурных условий следует признать существенным, поскольку пихта – порода теплолюбивая и не может существовать в жестких температурных условиях.

Все это подтверждают и графики радиального прироста двух одиночных лиственниц, произрастающих на 300–500 м выше, в горизонтальном удалении от современной верхней границы леса (рис. 3).

На графиках видно, что существенное увеличение радиального прироста этих деревьев наблюдается с конца 1980-х гг. и совпадает с массовым появлением молодой поросли лиственницы в подгольцовом поясе и за его пределами выше верхней границы леса.

В экотоне верхней границы леса в одном из каров в острове леса произведен детальный учет

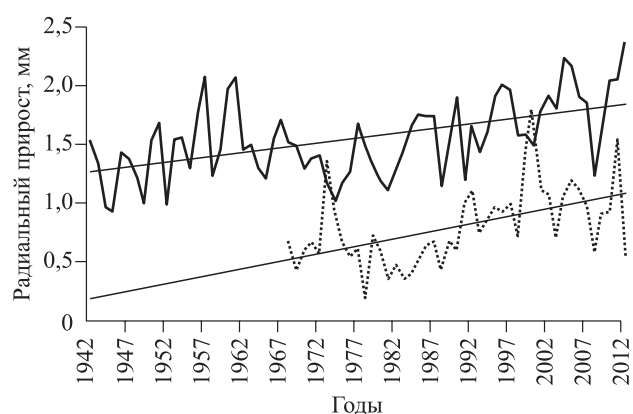
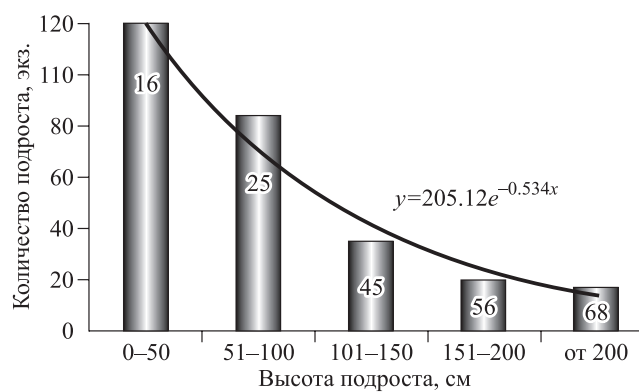


Рис. 3. Индивидуальные древесно-кольцевые хронологии отдельно стоящих молодых деревьев лиственницы на ключевом участке GOU5 выше верхней границы леса.

возобновления на площади 100 × 100 м с определением возраста подроста по ступеням высоты 0–50 см, 51–100, 101–150, 151–200 и выше 200 см (рис. 4). Насаждение характеризуется как лиственничник ерниковый. Древостой (сомкнутость более 0,5) представлен тремя поколениями лиственницы: (I) – высота до 14 м, возраст 380–410 лет; (II) – высота 8–10 м, возраст 140–170 лет и (III) – высота 5–8 м, возраст 70–90 лет.



Рис. 4. Остров лиственничного леса на вертикальном пределе распространения древесной растительности в верховьях р. Гуджекит (N 55.847614°, E 108.919044°, высота 1450 м над ур. м.).



**Рис. 5.** Диаграмма распределения подроста лиственницы в лиственничнике ерниковом у верхней границы распространения древесной растительности в верховьях р. Гуджекит на учетной площади  $100 \times 100$  м. Цифрами на столбиках диаграммы обозначен средний возраст подроста.

Последнее поколение появилось одновременно с одиночно стоящими деревьями выше верхней границы леса, вокруг которых сейчас наблюдается обильное возобновление 20–25-летнего возраста.

Всего учтено 255 экз. лиственницы и 1 экз. ели в возрасте более 10 лет.

Следует отметить, что еловые древостои здесь, как и в других районах Байкальской Сибири, приурочены к речным долинам и произрастают на гораздо меньших высотных отметках – 1000 м над ур. м. и ниже. В экотоне верхней границы леса ель репродуктивного возраста не обнаружена. Вероятно, семенной материал ели занесен сюда птицами.

Половина молодого поколения лиственницы появилась в последние 20 лет (средний возраст группы подроста высотой 0–50 см 16 лет) (рис. 5). Средний возраст следующей по массовости группы подроста лиственницы (51–100 см) 25 лет. В сумме доля этих двух групп составляет 74 % от всего возобновления. В целом возобновление в количестве около 300 экз./га можно отнести только к категории «среднее», поскольку в этих районах оно находится в пределах 200–900 экз./га (Ващук, Швиденко, 2006). Таким образом, в последнюю четверть века здесь произошел всплеск возобновления лиственницы, однозначно связанный с улучшением лесорастительных условий, прежде всего с повышением температуры воздуха в весенне-летний период.

В последние десятилетия создались условия для лучшего созревания семян лиственницы, их прорастания, возросли сохранность всходов и способность их доживать до старших возрастов.

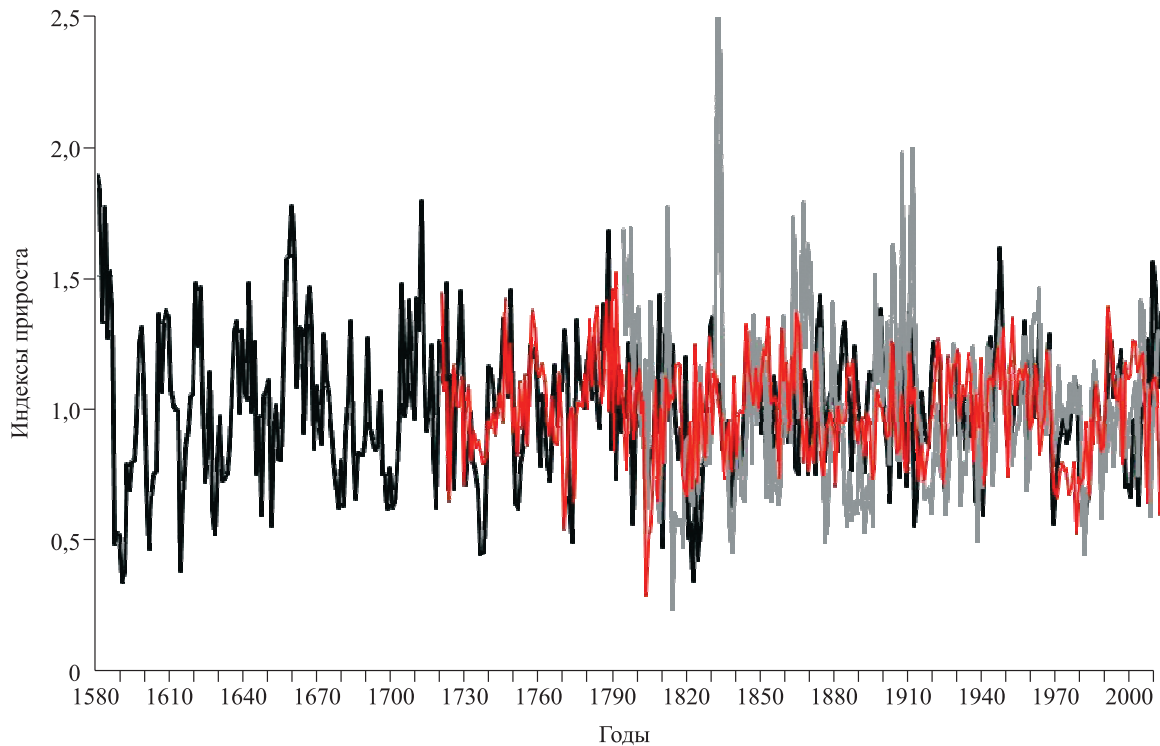
Кроме того, увеличилась сумма осадков в зимний период, и всходы деревьев получили большую защиту от вымораживания. Учитывая то, что зимы последних десятилетий стали существенно мягче, шансы на выживание всходов и семян деревьев в подгольцовом поясе существенно возросли. По данным П. А. Моисеева (2011), во всех природных провинциях Урала в экотоне верхней границы леса появление и массовое заселение древесными видами склонов в последние столетия напрямую зависят от особенностей формирования на них снежного покрова.

Далее обследовали высокогорья Верхнеангарского хребта (ключевой участок верховья р. Сырой Молокон). Данный район находится примерно в 10 км от оз. Байкал и на 70 км южнее ранее обследованного района Байкальского хребта. Структура растительности, динамические тенденции верхней границы леса и характер лесовозобновления имеют сходный характер и в общих чертах очень тесно коррелируют с таковыми для Байкальского хребта. Однако из-за близости к Байкалу и тепляющего влияния озера этот район отличается некоторыми деталями. Например, в составе древостоя отмечена большая доля кедра и пихты. В подросте пихта также заметнее. Но в целом растительность здесь имеет такие же характеристики, как и на водоразделе рек Грамны и Гуджекита (Байкальский хребет).

Сходство проявляется и в ритмике радиального прироста древостоев, которую отражают ОДКХ, полученные для горно-таежного и подгольцового поясов Байкальского хребта и горно-таежного пояса Верхнеангарского хребта (рис. 6). Самая длительная хронология получена для горно-таежного пояса Байкальского хребта – свыше 460 лет. Корреляционная связь между ОДКХ горно-таежного пояса обоих хребтов статистически достоверна ( $R = 0.28$ ). Более высокая связь – между ОДКХ горно-таежного пояса и ОДКХ из подгольцового пояса Байкальского хребта ( $R = 0.33$ ). Вследствие большей контрастности местообитания амплитуда прироста деревьев из подгольцового пояса имеет и больший размах.

К сожалению, сейчас в этом районе нет ни одной высокогорной метеостанции – ГМС «Даван» ликвидирована более 10 лет назад.

К тому же ряд ее наблюдений не превышает 30 лет и малопригоден для статистического анализа. Корреляционный анализ связи обобщенных древесно-кольцевых хронологий с температурой воздуха и атмосферными осадками пришлось выполнять по данным ГМС «Нижне-



**Рис. 6.** Фрагменты обобщенных древесно-кольцевых хронологий высокогорных лиственничных древостоев Северного Прибайкалья (скользящее сглаживание с шагом 7 лет): черная линия – горно-таежный пояс, Байкальский хребет, серая – подгольцовый пояс, Байкальский хребет, красная – горно-таежный пояс, Верхнеангарский хребет.

ангарск», которая имеет 80-летний ряд инструментальных климатических данных и расположена на побережье Байкала. Мы давали себе отчет в том, что условия побережья Байкала и высокогорного обрамления слишком различаются и какие-либо однозначные выводы по этой причине сделать нельзя, а можно только говорить о тенденциях. Связь обобщенных древесно-кольцевых хронологий с атмосферными осадками для обоих местообитаний или отсутствует, или слабоотрицательная, что вполне закономерно, учитывая большое количество осадков, выпадающих в высокогорьях. Годовая их сумма в конце прошлого века по данным ГМС «Даван» составляла в среднем 1260 мм против 470 мм на побережье (ГМС «Нижнеангарск»). Многофакторный корреляционный анализ с месячными температурами и их комбинациями в теплом и холодном сезонах показал невысокую, но статистически значимую связь ОДКХ с Верхнеангарского хребта только со средними температурами июня–августа ( $R = 0.22$ ,  $p \leq 0.05$ ,  $n = 80$ ). И хотя обследованное местообитание находится в высокогорье, но удалено от побережья всего на 10 км. Этим и объясняется выявленная корреляционная связь с температурой воздуха побережья Байкала.

На Байкальском хребте в горно-таежном поясе на водоразделе рек Грамны и Гоуджеки-та (удаление от побережья более 70 км) ОДКХ демонстрируют слабую, статистически незначимую связь с июнь–июльскими температурами прибрежной ГМС «Нижнеангарск» ( $R = 0.17$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для высокогорий Байкальского и Верхнеангарского хребтов получены длительные древесно-кольцевые хронологии, наиболее продолжительная из которых для горнотаежного пояса Байкальского хребта охватывает период 1548–2012 гг. По результатам исследования можно заключить, что во всех обследованных местообитаниях начиная с 1980-х гг. наблюдается устойчивый тренд увеличения радиального прироста деревьев. Наиболее отчетливо он прослеживается у деревьев верхней границы леса Байкальского хребта. Однако по абсолютным величинам современная фаза возрастания прироста деревьев уступает, к примеру, таковым в XIX в. Другими словами, современное изменение климата в Северном Прибайкалье пока не является чем-то экстраординарным. В последнюю четверть века произошел резкий всплеск

возобновления лиственницы, однозначно связанный с улучшением лесорастительных условий, прежде всего температуры воздуха в весенне-летний период. Отмечается продвижение древесных пород в подгольцовый пояс и горную тундру, которое зависит от высоты, экспозиции и уклона склонов, а также мест произрастания конкретных сообществ. Граница леса особенно четко прослеживается по склонам южных экспозиций, тогда как на «теневых» склонах граница леса и горной тундры носит прерывистый характер. Часто по отрогам хребтов древесные породы заходят глубоко (до сотен метров) в подгольцовый пояс.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ №14-04-00014 «Реконструкция растительности и природных условий Северного Прибайкалья в период голоцена».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ващук Л. Н., Швиденко А. З. Динамика лесных пространств Иркутской области. Иркутск: ОАО «Иркутская областная типография № 1», 2006. 392 с.
- Зибзеев Е. Г., Седельников В. П. Структура экотона между лесным и высокогорным поясами гор Южной Сибири // Растительный мир Азиатской России. 2010. № 2 (6). С. 46–49.
- 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.
- Касьянова Л. Н. Экология растений Прибайкалья. Водный обмен. М.: Наука, 2004. 288 с.
- Моисеев П. А., Бартыш А. А., Нагимов З. Я. Изменения климата и динамика древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала // Экология. 2010. № 6. С. 432–443.
- Моисеев П. А. Структура и динамика древесной растительности на верхнем пределе ее распространения на Урале: автореф. дис ... д-ра биол. наук: 03.00.08. Екатеринбург: Ин-т экол. раст. и животных УрО РАН, 2011. 42 с.
- Тимошок Е. Е., Николаева С. Н., Савчук Д. А., Лазарев А. В. Структура ценопопуляций кедра сибирского на коренном комплексе малой ледниковой эпохи ледника Малый Актру (Центральный Алтай, Северо-Чуйский хребет) // Проблемы кедр. 2003. № 7. С. 182–188.
- Харук В. И., Им С. Т., Рэнсон К. Дж., Наурызбаев М. М. Временная динамика лиственницы в экотоне лесотундры // ДАН. 2004. Т. 398. № 3. С. 1–5.
- Шиятов С. Г., Горчаковский П. Л. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 209 с.
- Шиятов С. Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 219 с.
- Aas B., Faarlund T. The present and the Holocene subalpine birch belt in Norway // Paleoclimate Res. 1996. N. 20. P. 19–42.
- Campelo F., García-González I., Nabais C. DetrendedR – a graphical user interface to process and visualize tree-ring data using // Dendrochronologia. 2012. N. 30. P. 57–60.
- Holtmeier F.-K. Waldgrenze und Klimaschwankungen-oekologische Aspekte eines vieldiskutierten Phaenomens // Geokododynamik. 1995. N. 6. S. 1–24.
- Holtmeier F.-K. Mountain timberlines: ecology, patchiness and dynamics. Boston-London: Kluwer Acad. Publishers, 2003. 369 p.
- Holtmeier F. K., Broll G. Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar tree lines to environmental change at landscape and local scales // Global Ecol. Biogeogr. 2005. N. 14. P. 395–410.
- IPCC: Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.
- Oksanen L., Moen J., Helle T. Timberline patterns in northernmost Fennoscandia. Relative importance of climate and grazing // Acta Botan. Fenn. 1995. V. 153. P. 93–105.
- Payette S., Fortin M.-J., Gamache I. The subarctic forest-tundra: the structure of a biome in a changing climate // BioScience. 2001. N. 51. P. 709–718.
- Rehfeldt G. E., Tchebakova N. M., Milyutin L. I., Parfenova E. I., Wykoff W. R., Kouzmina N. A. Assessing population responses to climate in *Pinus sylvestris* and *Larix* spp. of Eurasia with climate-transfer models // Euras. J. For. Res. 2003. V. 6–2. P. 83–98.
- Sizykh A. P., Voronin V. I. Spatial variability of vegetation in the changing climate of the Baikal region // Current Progress in Biol. Res. in Tech. 2013. P. 149–168.
- Tchebakova N. M., Rehfeldt G. E., Parfenova Y. I. Impacts of climate change on the distribution of *Larix* spp. and *Pinus sylvestris* and their climatypes in Siberia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2005. V. 11. P. 861–882.



## TRENDS IN DYNAMICS OF FOREST UPPER BOUNDARY IN HIGH MOUNTAINS OF NORTHERN BAIKAL AREA

V. I. Voronin, V. A. Oskolkov, V. A. Buyantuev, A. P. Sizykh

*Siberian Institute of Plants Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences,  
Siberian Branch  
Lermontov str., 132, Irkutsk, 664033 Russian Federation*

---

E-mail: bioin@sifibr.irk.ru, vosk@sifibr.irk.ru, vbwalter@yandex.ru, alexander.sizykh@gmail.com

Studies of spatial-temporal variability of the upper boundary of the forest on the north-western coast of Lake Baikal (Baikal and Upper Angara Ridges) are performed on the base of the analysis of forests renewal processes and of the dynamics of larch radial increment in the ecotone of the forest upper boundary and out of it. The presence of a large amount of well-developed uplands and circuses with considerable heights drops in the structure of mountain system favours formation of interrupted boundary between forest and subgoltsy belt. The timber stand of the upper forest boundary in the studied area is represented by Daurian larch. Three tree-ring chronologies of larch are obtained. The longest chronology is obtained for mountain taiga belt of Baikal Ridge and is as long as 460 years. Since 1980ies, a sustainable trend of increase of radial trees growth is observed. It is observed the most distinctly in trees of the upper forest boundary on the Baikal Ridge. There is advancing of trees species into subgoltsy belt and into mountain tundra, which depends, respectively, on slopes heights, exposition and tilting, on sites of growth of concrete cenoses. Modern peculiarity of the vegetation of the studied area is presence of abundant viable larch undergrowth (from 2–3 to 25 y.o.) and fir in the ecotone of upper forest boundary and in subgoltsy belt, as well as appearing of single specimens of spruce. Main undergrowth mass (2/3) is presented by trees aged in average 15–25 y.o., i.e., they appeared in late 1980ies. Due to increase of snow cover thickness in winter, the trees young growth obtained great protection from freezing resulting in the increase of ability of young growth to live up to elder age.

**Keywords:** *ecotone of the forest upper boundary, Daurian larch, forest regeneration, radial increment, northern Baikal area.*

**How to cite:** *Voronin V. I., Oskolkov V. A., Buyantuev V. A., Sizykh A. P. Trends in dynamics of forest upper boundary in high mountains of northern Baikal area // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2016. N. 4: 77– 85 (in Russian with English abstract).*