

В. И. ХАРУК, С. Т. ИМ

ВСЛЕД ЗА ЛЕСОМ

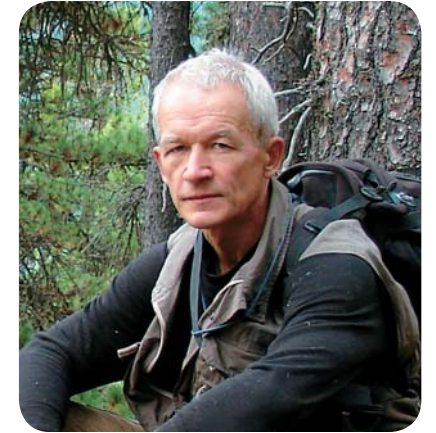
В ГОРЫ

Танну-Ола

Мы идем по хребту Танну-Ола — южной границе сибирской тайги... Этот водораздел между бассейном Ледовитого океана и бессточными котловинами Центральной Азии — переходная зона между бореальными лесами и степями Монголии. Наш путь лежит к вершине Чангыз-тайги (по-тувински «тайга» означает «горный лес»). Верхняя граница леса и есть конечный пункт нашей экспедиции: наша цель — попытаться разобраться, как горная лесотундра реагирует на изменения климата, так тревожащие современное человечество



ИМ Сергей Тхекдеевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории мониторинга леса Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (Красноярск). Сфера научных интересов: дистанционное зондирование. Автор и соавтор более 30 научных публикации



ХАРУК Вячеслав Иванович — доктор биологических наук, профессор, заведующий отделом экологии и мониторинга леса Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (Красноярск), заведующий кафедрой ГИС в СибФУ. Автор и соавтор более 130 научных публикаций

В сентябре в горах снег уже лежит, в мае — еще лежит... Но и на этих суровых краях отразилось глобальное потепление: за последнее столетие в горах Тувы температура повысилась в среднем примерно на 1 °С для снежного периода, и на 0.4 °С — для летнего. Как же сказались такое, кажущееся небольшим, потепление на судьбе нашего «зеленого» друга — леса?

За ответом на этот вопрос мы и отправились в горную лесотундру на юге Тувы. Но почему именно в горы? На альпийской границе рост и распространение деревьев по высоте лимитируется температурой: эта зона наиболее чувствительна к изменениям климата. Горная лесотундра — намного более удобный



Речка Чамга, прорезающая горную тайгу на хребте Танну-Ола

Вячеслав Харук:

«Идем по маральной тропе, а где она исчезает — карабкаемся по осыпям. Мои коллеги «в разы» моложе меня. Пока что не отстаю от них, хотя иногда подумается: что я тут забыл? Сидел бы в кабинете, подписывал бумажки — пусть молодые стараются...

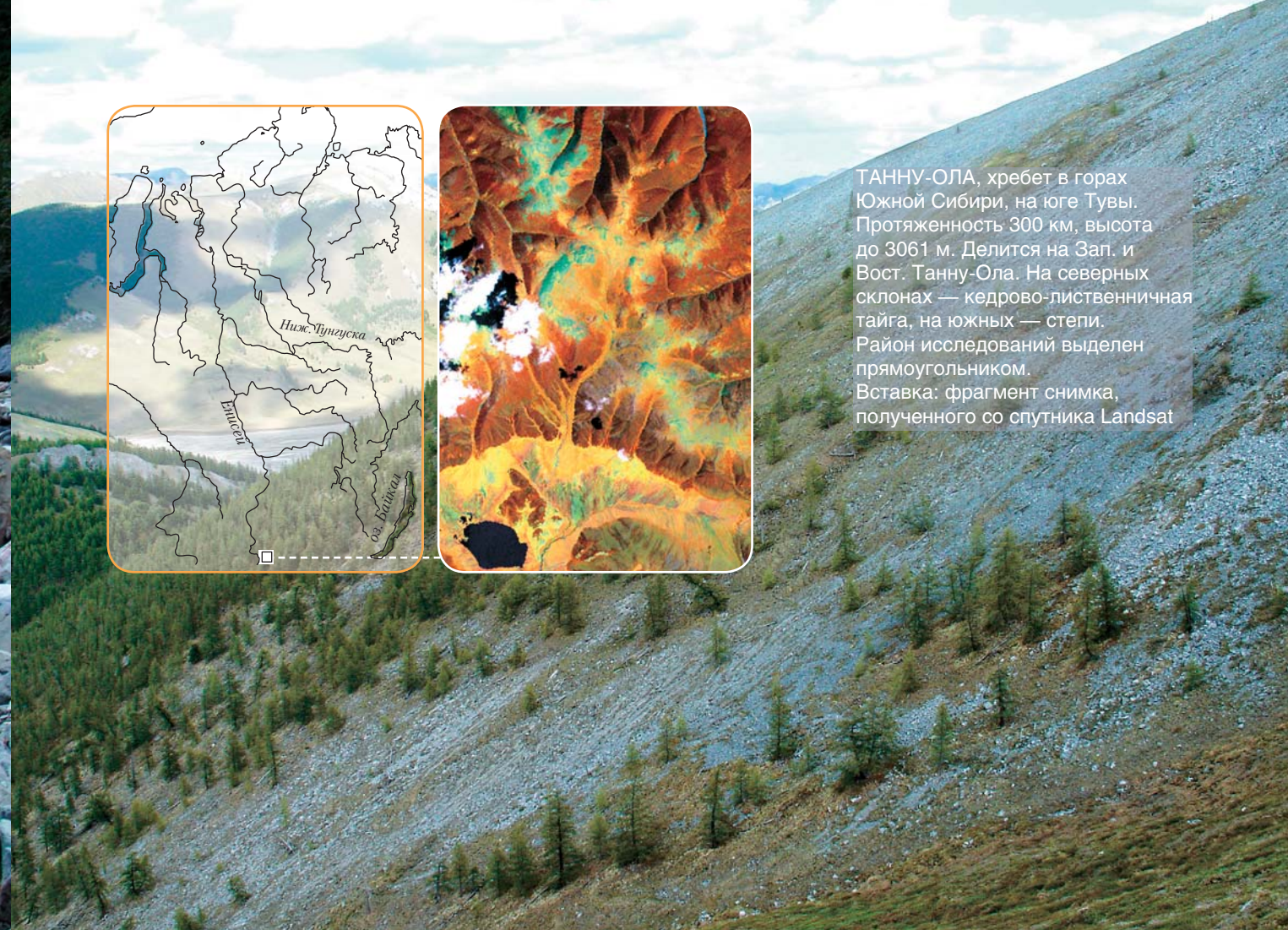
Зато — какая вода в речке Чамге! (Чамга — Селенга — Волга: случайное ли созвучие?). Она набирает совершенно необыкновенный вкус, протекая по кремешкам, кварцевым камешкам (а вот у «известняковых» ручьев вкус — никакой).

Вдоль Чамги — заросшие шурфы: следы старателей. Ниже по течению золотишко мыли гидромониторами. Не удержался и я «постараться», однако в итоге на дне чашки — лишь несколько

тяжелых крупинок неопределенного происхождения.

Панорама, открывающаяся с Чангыз-тайги, заслуживает пролитого при восхождении пота. Взор охватывает тувинскую котловину, синюющие хребты на горизонте, далекое марево над монгольскими степями...

Тува — это тысячелетия истории, золото скифов, руины уйгурских крепостей, походы Сабудай-богатура, правой руки Чингиз-хана, превзошедшего самого покорителя Вселенной в военном деле. Сабудай-богатур (хитрый, коварный богатур) был потом и верховным полководцем Батыя. Природа также не обделила этот благословенный край: — здесь есть все — тайга и степи, чистые реки и озера, горы и солончаки... »



ТАННУ-ОЛА, хребет в горах Южной Сибири, на юге Тувы. Протяженность 300 км, высота до 3061 м. Делится на Зап. и Вост. Танну-Ола. На северных склонах — кедрово-лиственничная тайга, на южных — степи. Район исследований выделен прямоугольником. Вставка: фрагмент снимка, полученного со спутника Landsat

Пример «диффузной» границы леса на склоне, где отсутствует микрорельеф поверхности: лиственницы, «карабкающиеся» по градиенту высоты

объект для исследования по сравнению с северной: температурные градиенты в ней «сжаты» до десятков и сотен метров, что соответствует десяткам километров на севере.

Жизнь в горах

Жизнь деревьев в горах нельзя назвать легкой. В первую очередь, это низкие зимние температуры, от которых напрямую зависит выживаемость подростка, особенно наиболее молодого.

Второй неблагоприятный фактор внешней среды — холодный ветер, который иссушает хвою и побеги деревьев, оставшихся выше уровня снега, а снежинки как наждаком шлифуют, сдирают с них кору. Согласно известному эмпирическому правилу, каждые 2 м/с зим-

При выраженном микрорельефе горной местности верхняя граница леса мозаичная: растения укрываются от ветра в складках местности, за камнями и скалами, а иногда и за своими предшественниками.

На «гладких» подветренных склонах граница леса обычно диффузная: наблюдается «градиент концентрации» деревьев на пути к вершине



Нелегко быть первопроходцем, как этот кедр. В горах нередко можно встретить таких великовозрастных (до 500 и более лет) одиноко стоящих патриархов в окружении молодой поросли. Их стволы и ветви иссечены зимней вьюгой, часть ветвей засохла, вершина нередко обломана, но они упорно сопротивляются непогоде, живут и плодоносят, прикрывая подрост



Очевидцы и жертвы изменений климата — лиственницы на хребте Сенгилен, погибшие в «малый ледниковый период» (XVII — начало XIX вв.). Бывшая граница редколесий «маркирована» упавшими деревьями

него ветра эквивалентны понижению температуры на 1 °С. Поэтому снежный покров, прикрывающий подрост от метелей, не менее значим для него, чем благоприятные температурные условия.

Хотя и избыток влаги в виде снега для деревьев нежелателен. Например, позади «продвинутого» подростка образуются сугробы, в результате чего снег в этой зоне тает более медленно. Это приводит к сокращению периода вегетации и, следовательно, к гибели зеленой «молодежи».

Деревья, как могут, стараются противостоять напору стихий. Адаптацией к вымораживающему действию зимнего ветра можно назвать *кластеризацию* деревьев — формирование ими группировок определенной геометрии. Внутри подобных кластеров-куртин ветровая нагрузка на отдельные деревья уменьшается, что препятствует иссушению и снежным «абразивным» повреждениям коры деревьев. Благодаря этому подрост лучше выживает, становясь по мере «взросления» более устойчивым к экстремальным воздействиям среды.

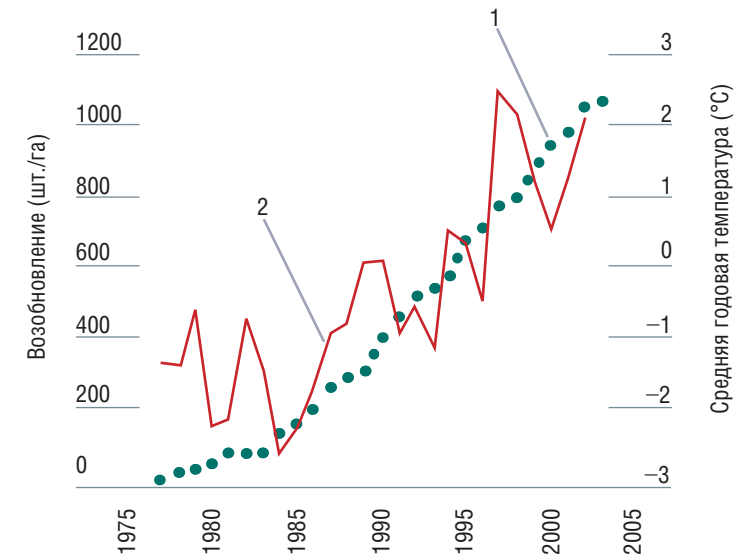
Еще одно приспособление деревьев к жизни в горах — образование *стлаников*, особой древесной жизненной

формы. Эти низкорослые, стелющиеся по земле деревца имеют горизонтальные или приподнимающиеся осевые побеги, которые надежно укрыты от действия зимних холодов и ветров под снежным покровом. Деревья-стланики могут жить и плодоносить сотни лет.

Горная тайга меняет облик

Судя по результатам экспедиции, благодаря потеплению и более мягкой зиме деревья в горах юга Сибири отвоевали у высоты почти сотню метров. Повышение температуры на 1 °С способствует продвижению подростка примерно на 75 м по градиенту высоты. Сегодня молодые деревца растут уже на 10–90 м выше прежней границы редколесий. (Линия прежней границы прослеживается по упавшим, а изредка по еще стоящим стволам деревьев. В условиях горной лесотундры эти останки сохраняются столетиями. Подрастающие же молодые деревья пока не достигли размеров своих предшественников.)

Благодаря смягчению условий зимнего периода «обморачивание» верхушечных побегов и хвои происходит



Численность подроста лиственницы и кедра (1) увеличивается с ростом средней годовой температуры (2)

Лиственница — чемпион по устойчивости к холодам, ветрам и недостатку влаги. Этому способствует ее листопадность и покрывающая ствол плотная корка, защищающая от вымораживания. Более холодостойкая, лиственница представлена стволовой формой там, где кедр — стланиковой

Отшлифованный метелями плодоносящий кедровый стланик, возраст которого превышает две сотни лет. Такая жизненная форма характерна для кедра (*Pinus sibirica*), растущего на пределе произрастания

в меньшей степени. Это способствует сохранению фотосинтезирующего аппарата деревьев и их выживанию на большей высоте. Продвижению подроста вверх способствует и наблюдаемое ныне (а также предсказываемое в будущем) повышение уровня осадков: благодаря более мощному снеговому покрову подрост лучше защищен от метелей.

Деревья отвоевывают не только вершины, но и распадки, где накапливается снег. Благодаря потеплению сход снежного покрова ускорился, что благоприятствует освоению этих мест деревьями.

Еще одна примета потепления — так называемые *пост-стланики*, т.е. сформировавшие вертикальный ствол стланиковые формы деревьев, в большом количестве присутствующие в переходной зоне (*эктоне*) между лесом и горной тундрой. Судя по динамике

Низкие температуры в сочетании с метелями вымораживают хвою и побеги, не защищенные снежным покровом, и в этом смысле явное преимущество в горах имеют стланиковые формы деревьев. Потепление, начавшееся в 80-х годах прошлого столетия, привело к формированию ствола у стланиковых форм кедра и лиственницы



апикального (верхушечного) и радиального приростов древесных растений, этот процесс начался примерно в 80-х гг. прошлого столетия.

Наша экспедиция проходила в зоне «контакта» двух деревьев: лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и кедра сибирского (*Pinus sibirica*). Лиственница — уникальное дерево, настоящий лидер по устойчивости к холоду, ветру и недостатку влаги (она способна выживать при «полупустынном» уровне осадков, т.е. менее 250 мм/год). Именно лиственничные леса стоят на страже северной лесной границы в Азии. К востоку

от Танну-Ола, на хребте Сенгилен, лиственница поднимается на высоты свыше 2600 м.

Кедр менее холодостоек и весьма влаголюбив: это «дерево туманов» предпочитает высокую влажность (осадки до 1000 мм/год и более). Лиственница, превосходя кедр в холодостойкости, представлена стволовой формой там, где кедр — стланиковой.

Однако несмотря на различия в экологических нишах, смягчение климата благоприятствует, хотя и в разной степени, продвижению обоих видов в горы.



«Материнская» лиственница — вековая поддержка продвижения подроста в горную тундру



В горной лесотундре микрорельеф местности исключительно важен для выживания деревьев, укрывающегося от зимних вьюг за камнями и скалами, как эта молодая лиственница, возраст которой примерно 50 лет

Лиственница и кедр: кто кого

Быстро использовать новые возможности, открывшиеся при потеплении, позволяют «продвинутые» в тундру деревья-семенники. Ведь зачастую освоение тундры лимитируется именно недостатком семян. Это особенно важно для лиственницы: ее легкие семена, которые она «сеет» в течение всей зимы, разносятся метелями на сотни метров от материнского дерева.

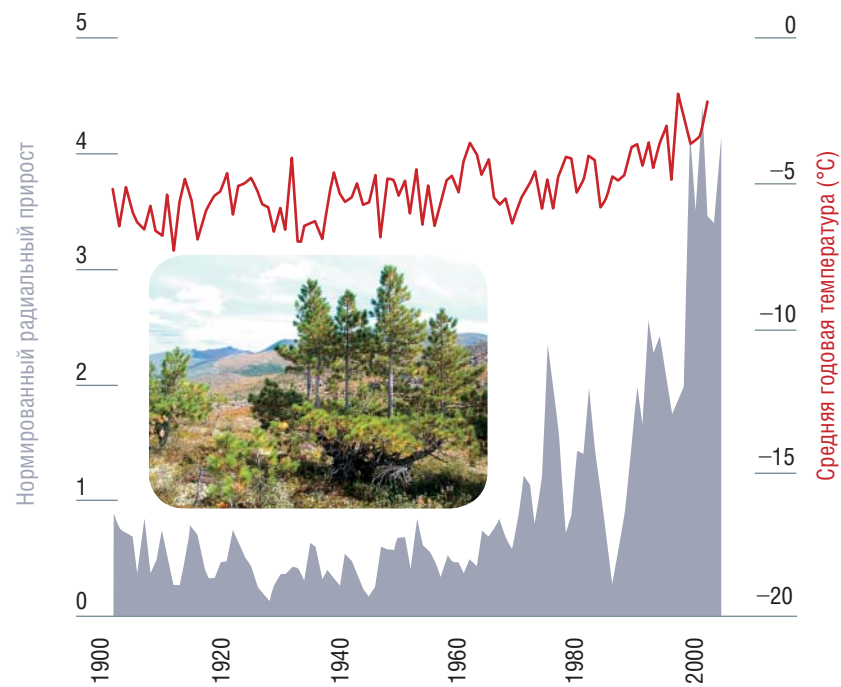
Кедр, в отличие от лиственницы, расселяется преимущественно с помощью кедровки (*Nucifraga caryocatactes*), этой неутомимой труженицы. Она запасает кедровые орешки (обычно в местах, благоприятных для их прорастания) в радиусе 1–2 км от материнских деревьев, и забывает о части запасов. К тому же в урожайные годы кедровка запасает гораздо больше, чем способна употребить: так, одна птица может «захоро-

нить» до 60(!) кг орехов — такого количества пищи ей хватило бы на четыре года (Бех и Таран, 1979).

Величина радиального прироста ствола представляет собой важнейший индикатор, отклик древесного растения на повышение температуры. Этот показатель у кедра выше, чем у лиственницы, что дает этому виду конкурентные преимущества в меняющемся климате.

Увеличение уровня осадков также должно благоприятствовать более влаголюбивому кедру. То же самое можно сказать и в отношении еще одной лесной характеристики — *сомкнутости* древесного полога, которая при потеплении возрастает. Процесс этот может неблагоприятно сказаться на лиственнице: она, как исключительно светолюбивый вид, не выносит затенения.

Все эти факты говорят в пользу того, что доля кедра в составе сибирской тайги будет возрастать. Свидетельства этому уже обнаружены на южной границе зоны



Вызванное потеплением увеличение радиального прироста ствола у деревьев в 80-е годы прошлого века совпало с началом формирования ствола у стланиковых форм кедр

Кедр сибирский (или сосна сибирская кедровая) может достигать свыше 40 м в высоту и 1,8 м в диаметре ствола. Но в экстремальных условиях горной лесотундры он не вырастает выше 1 м. Этому малютке-кедрю, укrywшемуся в камнях, уже под сотню лет!

В отличие от лиственницы, имеющей легкие «летучие» семена, кедр расселяется преимущественно с помощью кедровки



доминирования лиственницы (Центральная Сибирь), где кедр вместе с другими хвойными (пихтой и елью) формирует второй ярус под пологом лиственницы (Kharuk et al., 2007). Добавим, что преобладание в составе леса кедр европейского (*Pinus cembra*) при снижении доли лиственницы европейской (*Larix decidua*) (видов, аналогичных сибирским) прогнозируется и для Альп (Bugmann et al., 2005). Конечно, лиственнице не грозит исчезновение: она всегда будет доминировать там, где ее непревзойденная устойчивость к экстремальным воздействиям дает ей преимущества над конкурентами.

Каким может быть результат этого процесса? Возрастание доли «темнохвойных» видов древесных растений, таких как кедр, пихта, ель, а также проникновение древесных растений в каменистую тундру, очевидно, повлечет уменьшение альбедо (отражательной способности) земной поверхности, что увеличит поглощение солнечной радиации. Таким образом может сформироваться положительная обратная связь, усиливающая эффект потепления на региональном уровне.

Таким образом, лиственница и кедр высокогорий откликаются на изменения климата повышением сомкнутости древостоя, увеличением годичного прироста ствола, возрастанием численности подроста, а также трансформацией стланиковых форм в стволовые. В результате потепления альпийская граница леса перемещается вверх по градиенту высоты. Схожие изменения происходят и на другом конце Евразии, в горах Скандинавии и в Альпах (Kroger, 2005; Kullman, 2007).

Если температура воздуха будет повышаться и в дальнейшем, то насколько высоко в горы могут «продвинуться» леса? В северном полушарии самая высокогорная граница леса проходит в сухих субтропиках на высоте около 4,5 тыс. м. Очевидно, это и есть тот естественный предел продвижения деревьев «к звездам», выше которого они погибают от заморозков высокогорий (Wieser, Tausz, 2007). Этого предела не достигает ни одна из вершин Тувы. И все же не верится, что когда-нибудь тувинцы назовут высочайшую из своих вершин Монгун-тайгу, названную «серебряной» за сияющие ледники, Ноган-тайгой — Зеленой горой.

В публикации использованы фотографии В. Харука

Литература
 Бех И.А., Таран И.В. Сибирское чудо-дерево / Отв. ред. В.Е. Кулаков. Новосибирск: Наука, 1979. — 125 с.
 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.
 Bugmann H., Zierl B., Schumacher S. Projecting the impacts of climate change on mountain forests and landscapes // U. M. Huber et al. (eds.) // Advances in global change research. Global Change and Mountain Regions, 23. Dordrecht. Springer. — 2005. — P. 477—487.
 IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Valencia, Spain, 12—17 November. 2007.
 Kharuk V., Ranson K., Dvinskaya M. Evidence of Evergreen Conifer Invasion into Larch Dominated Forests During Recent Decades in Central Siberia // Eurasian J. For. Res. — 2007. — V. 10, № 2. — P. 163—171.
 Korner C., Paulsen J. A world-wide study of high altitude tree line temperatures // J. Biogeography. — 2004. — V. 31. — P. 713—732.
 Kroger T. The green cover of mountains in a changing environment // U. M. Huber et al. (eds.) // Advances in global change research. Global Change and Mountain Regions, 23. Dordrecht. Springer, 2005. — P. 367—375.
 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. Ecology. — 2007. — V. 95. — P. 41—52.
 Wieser G., Tausz M. Current concepts for treeline limitation at the upper timberline (G. Wieser and M. Tausz eds) // Trees at their upper limit. Netherlands. Springer, 2007. — 232 p.

