

УДК [582.472.2: 911.2]: 574.2 (571.52)

**Внутриландшафтная изменчивость
радиальных приростов
лиственницы сибирской
(*Larix sibirica* Ledeb.)
Терехольской котловины Тывы в XX в.**

Е.П. Кузнецова*, Д.Н. Козлов
*Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова
Россия 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы ¹*

Received 2.12.2011, received in revised form 9.12.2011, accepted 16.12.2011

*Дендроэкологический подход применяется к изучению фундаментальной проблемы ландшафтоведения – связи структуры и функционирования геосистем. Рассмотрено влияние региональных климатических факторов (осадки, температура) на изменчивость радиальных приростов лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в разных локальных условиях местообитания в юго-западной части Терехольской котловины Тывы за период 1906–2008 гг. Установлено, что динамика радиальных приростов в большей степени обусловлена влиянием аллохтонных факторов (62 %), чем автохтонных (38 %). Выделены ведущие компоненты изменчивости приростов. Проведена их интерпретация. Рассчитан вклад компонент в изменчивость приростов деревьев локальных местообитаний. Ведущим фактором изменчивости является региональная динамика метеорологических показателей, трансформированных неоднородностью ландшафтных условий. Для лесостепных сообществ значим фактор летнего увлажнения (июнь–июль) текущего и предшествующего вегетационного сезонов. Автономные таежные сообщества междуречий в отсутствие мерзлоты и супераквальные таежные сообщества на криоземах в днище долины местного водотока чувствительны к режимам тепло- и влагообеспеченности. Таежные сообщества склонов северной экспозиции не восприимчивы к режиму увлажнения. Динамика приростов лиственниц на озерных террасах озера Тере-Холь связана с глубиной грунтовых вод, зависящих от уровня озера.*

Ключевые слова: дендроэкология, радиальный прирост, локальные условия, ландшафтная неоднородность, климат, лиственница сибирская, Тыва.

* Corresponding author E-mail address: ekaterina.p.kuznetsova@gmail.com

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

Введение

В российских дендрэкологических исследованиях последних лет возрастает интерес к изучению влияния локальных условий местообитания на изменчивость параметров годовых колец деревьев (Велисевич, Хуторной, 2009; Бабушкина и др., 2010, 2011; Николаев и др. 2011). Под локальными условиями понимается положение в рельефе (высота, крутизна, экспозиция), литологический состав отложений и их мощность, характеристики почвы (тип, влажность, температура, механический состав), наличие мерзлоты. Степень проявления локального сигнала годовичного кольца выражается через различие регионального климатического отклика в разных экотопах.

В других науках, в частности в ландшафтоведении, схожая проблема сводится к исследованию влияния внутриландшафтной неоднородности на пространственно-временную изменчивость процессов энергомассообмена (География, общество ..., 2004). Изучение закономерностей трансформации входящих региональных потоков вещества и энергии морфологической структурой ландшафта требует длительных наблюдений. Первые программы таких исследований были разработаны В.Б. Сочавой – комплексная ординация на полигонах-трансектах (Сочава, 2005). Работы проводились на гидрологических, биогеоценотических и комплексных физико-географических стационарах. В настоящее время ведутся пульсационные измерения энергомассообмена в системе атмосфера–растительность–почва: проекты FLUXNET, arboEurope, действует Международная программа долговременных экологических исследований ILTER.

Длительные наблюдения на стационарах лимитированы финансово-организационными условиями, в связи с чем

вместо прямых измерений параметров энергомассообмена широко применяются косвенные методы их оценки на основе аэрокосмических технологий (Выгодская, Горшков, 1987; Сандлерский, 2006) либо палеогеографических реконструкций (стратиграфический, палинологический, дендрохронологический, педологический и др.).

Для изучения локальной трансформации региональных потоков их регистраторы должны располагаться в каждом элементе морфологической структуры ландшафта. Массовые данные о пространственно-временной изменчивости функционирования биологического круговорота содержатся в морфологии тканей и органов древесных растений. Последовательность и структура годовичных колец древесины индицируют межгодовую и внутригодовую динамику продукционного процесса (Vaganov et al., 2006), обусловленную автохтонными (генетические особенности, возраст) и аллохтонными (конкурентные отношения, климатические, геоморфологические, гидрологические и др.) факторами (рис. 1), действующими в широком диапазоне пространственно-временных масштабов. Таким образом, представляется возможным использование дендрэкологических подходов для анализа структурно-функциональных связей в ландшафте.

Цель данного исследования – установить закономерности проявления региональных факторов изменчивости продукционного процесса у лиственницы сибирской в зависимости от локальной неоднородности местообитаний геосистем юго-западной части Терехольской котловины Тывы в XX в. (1906–2008 гг.). Задачи исследования: 1) установить соотношение автохтонной и аллохтонной составляющих изменчивости годовичных приростов древесины; 2) определить число, соотношение, смысловое содержание аллохтонных

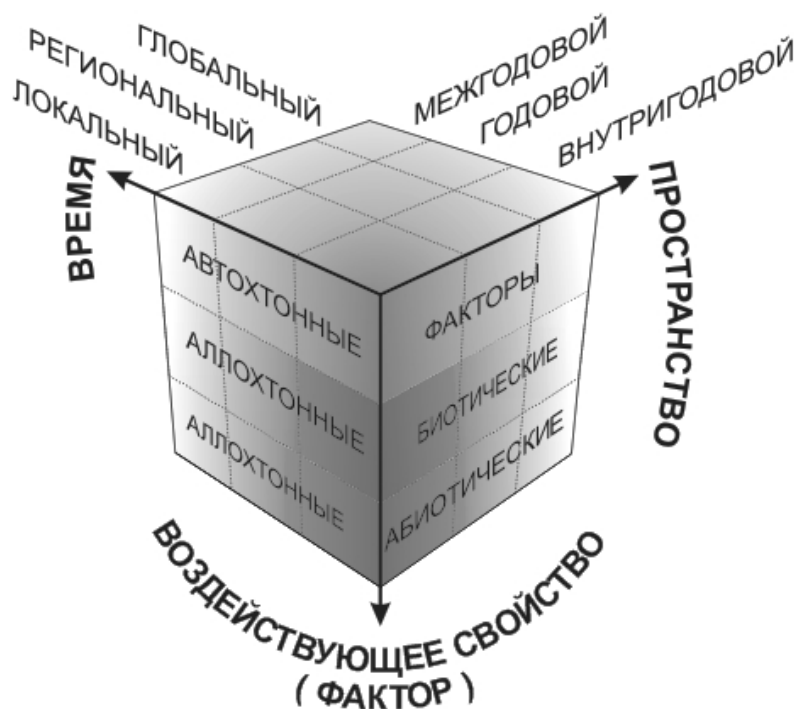


Рис. 1. Факторы продукционного процесса

факторов изменчивости приростов; 3) количественно оценить проявление региональных аллохтонных факторов в разных локальных геосистемах.

Материалы и методы

Материал для исследования отбирали в Терехольской котловине (рис. 2) – межгорной впадине северо-восточного склона нагорья Сангилен в юго-восточной части республики Тыва (51° с.ш., 97° в.д.). Район исследования расположен в зоне среднегорных суббореальных лиственничных и кедрово-лиственничных ландшафтов складчато-глыбовых гор Южной Сибири (Ландшафтная карта СССР, 1988). Абсолютная высота днища 1300–1360 м. Горное обрамление поднимается до 1600–1700 м.

Территория характеризуется резко континентальным климатом: суровой мало-снежной зимой, теплым непродолжительным

летом, коротким безморозным периодом (32 дня). Среднегодовые температуры отрицательны (минус 6,7 °С), небольшое количество осадков неравномерно распределено по сезонам (323 мм, 89 % приходится на летние месяцы) (Bronnikova et al., 2010). Юго-западная часть котловины занята пресным проточным озером Тере-Холь.

Структура почвенно-растительного покрова в условиях резко континентального климата определяется влиянием абсолютной высоты и экспозиции склонов: на сухих участках днища котловины и на склонах южной экспозиции преобладают монгольские степные элементы, на склонах северной экспозиции господствуют таежные леса.

Образцы древесины (керны и спилы) лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) отобраны по стандартной методике (Шиятов и др., 2000) в пяти контрастных местообитаниях – геосистемах ранга групп урочищ



Рис. 2. Карта района исследования. Терехольская котловина, Тыва, Россия

(табл. 1). Общее количество модельных деревьев возрастом более 100 лет 112 шт.

Ширина годичных колец измерялась на полуавтоматической установке LinTab 5 с применением пакета TsapWin Professional (точность 0,01 мм). Измерения по двум радиусам дерева перекрестно датировали, осредняли для получения индивидуальной хронологии. Индивидуальные хронологии перекрестно датировали внутри и между площадками. Датирование подтверждалось коэффициентом синхронности (G1k), индексом перекрестного датирования (CDI), кросс-корреляцией (CC) (Rinn, 2003). Для анализа выбран период 1906–2008 гг. как наиболее обеспеченный индивидуальными хронологиями.

Изменчивость приростов обусловлена совместным действием автохтонных и аллохтонных факторов. Для выделения сигнала автохтонной составляющей использована экспоненциальная модель кривой роста в программе ARSTAN из специализированного

пакета программ DPL (Cook, Holmes, 1999). Методом регрессионного анализа в программе STATISTICA рассчитан вклад (R^2) автохтонного сигнала в общую изменчивость приростов для полного периода жизни дерева и для 1906–2008 гг.

Совместное действие аллохтонных факторов биотической (конкурентные отношения) и абиотической природы (свойства рельефа, отложений, почв и др.) содержится в индексированных хронологиях, полученных вычитанием из измеренных значений приростов значений модели кривой роста (Methods of Dendrochronology..., 1990). Разделение аллохтонных факторов изменчивости приростов базируется на анализе индексированных хронологий в 1906–2008 гг. методом главных компонент (Peters et al., 1981). Метод позволяет разложить вариативность индексированных приростов на независимые компоненты по подобию их изменчивости у разных деревьев (рис. 3). Число значимых компонент определялось по критерию Кайзера (Борови-

Таблица 1. Характеристики местообитаний и древесно-кольцевых хронологий

№	Характеристика местообитаний групп урочищ	Число пробных площадок/деревьев	Возраст деревьев, лет	Мин/ср./макс прирост за 1906-2008 гг., см	Индекс конкуренции	Синхронность (Glk), %	Кросс-корреляция (CC)	Индекс перекрестного датирования (CDI)
I	2 Днище котловины (абс. высота 1320-1325 м): - конуса выноса местных водотоков, сложенные щебно-суглинистым пролювием, с отдельными листовниками (II кл. бонитета) разнотравно-злаковые и бобово-злаково-разнотравные на стратоземе темногумусовом; - покатый северный склон флювиогляциального вала, сложенный слоистыми песчано-гравийно-щебнистыми отложениями, с разреженным листовничником кустарниковым (шиповник, жимолость) разнотравно-злаковым (III кл. бонитета) на палевых темногумусовых почвах	3 3/19	4 110-206	5 4,5/12,3/ 23,6	6 0,75	7 68,5	8 48,7	9 53
II	Днище долины руч. Айыл (1370 м), сложенное галечно-валунным и песчаным аллювием, с слово-лиственничником с кедром рододендрово-смородиновым брусничным зеленомошным (IV кл. бонитета) на криоземе гумусово-квизиглеевом вторично оторфованном	2/23	127-476	2,0/4,8/ 10,8	1,91	58,6	65,1	19,3
III	Озерные террасы (1300-1302 м): - слабоклонная вторая озерная терраса, сложенная озерными суглинистыми отложениями, с листовничниками разнотравно-осоковыми (III кл. бонитета) на гумусовых квазиглеевых иловато-перегнойных вторично оторфованных почвах; - пологий склон щебно-супесчаного деловально-коллювиального шлейфа с листовничниками бобово-разнотравно-злаковыми (III кл. бонитета) на стратоземах темногумусовых	2/18	101-272	3,7/9,1/ 20,3	0,94	58,5	19,1	16,9

Таблица 1. Характеристики местообитаний и древесно-кольцевых хронологий.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
IV	Крутой склон северной экспозиции (1350-1700 м), сложенный коллоидом мраморов, кварцитов, гнейсов, с листовничником с кедром рододендроновым брусничным зеленомошным (IV кл. бонитета) на криоземе перетнойно-торфяном потечно-гумусовом и с елово-лиственничником с кедром рододендроновым мертвопокровным зеленомошным (IV кл. бонитета) на стратоземе темногумусовом вторично оторфованном	4/38	102-173	1,6/5,0/ 12,1	1,4	58,0	74,3	17,3
V	Слабонаклонное междуречье оз. Тере-Холь и руч. Айыл (1700-1800 м), сложенное элювием мраморов, с кедрово-лиственничником с елью багульниково-брусничным зеленомошным и осоково-бруснично-злаковым (IV кл. бонитета) на грубогумусовых органо-аккумулятивных остаточных карбонатных почвах	2/14	135-260	1,5/5,7/16,1	1,15	61,8%	61,1	37,8

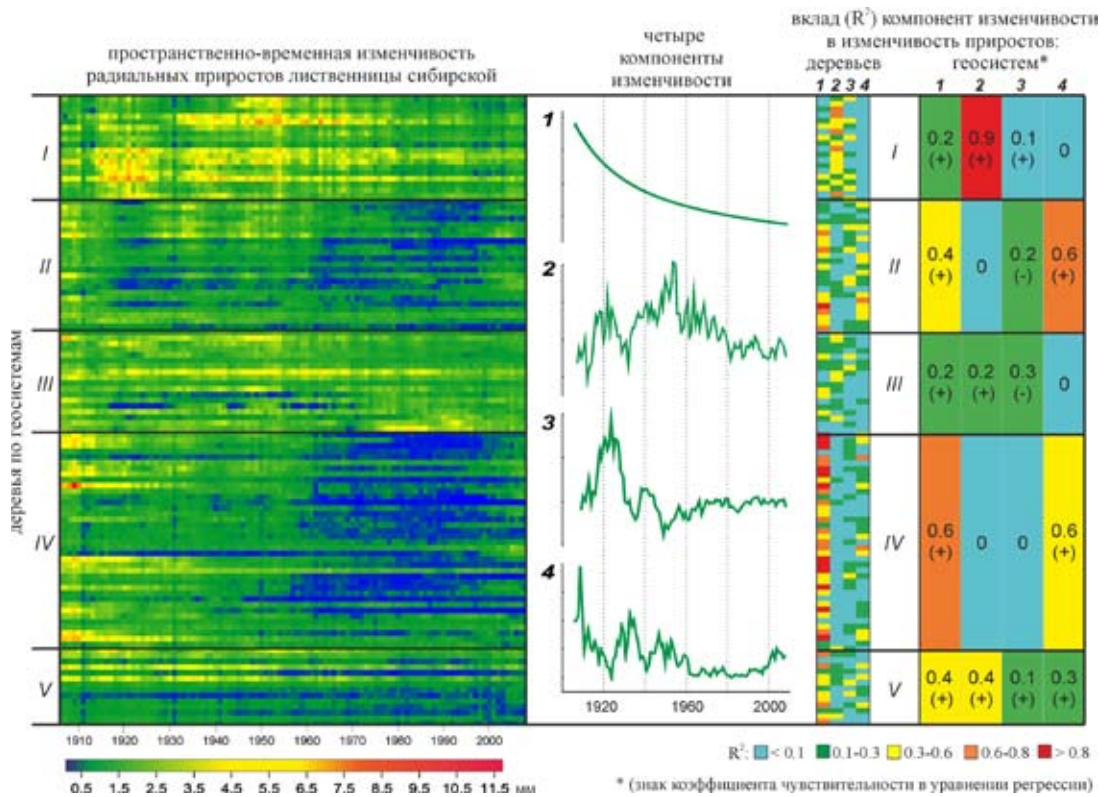


Рис. 3. Общая схема результатов исследования: пространственно-временная изменчивость радиальных приростов лиственницы сибирской, компоненты изменчивости приростов, вклад компонент в изменчивость приростов индивидуальных деревьев и в интегральный прирост древостоев пяти геосистем

ков, 2006). Статистический анализ проводили в программном пакете STATISTICA.

Интерпретация компонент проводилась сопоставлением их изменчивости с изменчивостью региональных климатических условий (метеорологические данные) методами пошаговой регрессии (Пузаченко, 2004).

Ряды наблюдений на ближайших метеостанциях начинаются во второй половине XX в.: «Кызыл» (температура за 1943–2010 гг.; осадки за 1966–2010 гг., 1310 м над ур.м.), «Эрзин» (температура за 1950–2010 гг., осадки за 1949–2010 гг. с пропусками в 1965, 1977, 1994 гг., 1101 м над ур.м.) (www.meteo.ru). Ближайшая станция «Кунгур-Тук» (1958–1962 гг., 1310 м над ур.м.) завершила свою работу в середине XX в. (Климат СССР, 1967, 1969).

В связи с этим использованы климатические данные модели CRU TS2.1 (Climate Research Unit), содержащие значения среднемесячных метеорологических переменных (температура, осадки, влажность и др.) с 1901 по 2002 гг. для ячеек геодезической сетки 0,5 x 0,5° (New et al., 2002, Mitchell et al., 2004). В анализ включены средние значения температуры и суммы осадков за месяц, год, текущий и предшествующий вегетационный периоды.

Вклад независимых компонент в аллохтонно обусловленную изменчивость приростов для каждого дерева и обобщенной хронологии для местообитания устанавливали пропорционально величине R^2 в уравнении множественной регрессии между значениями индексированных приростов и значения-

ми компонент. Сравнение средних значений R^2 лиственниц из пяти контрастных местообитаний иллюстрирует трансформацию регионального (климатического) сигнала неоднородностью локальных ландшафтных условий.

Результаты и обсуждение

Для визуализации исходных данных радиальных приростов использована регулярная сетка значений (растр), столбцы которой соответствуют годам, строки – индивидуальным хронологиям, ячейки раскрашены в зависимости от величины прироста (рис. 3). Растр иллюстрирует изменчивость годовых приростов во времени (между годами) и в пространстве (между деревьями).

Общая изменчивость приростов. Каждое местообитание отличается особым типом динамики годовых приростов за 1906–2008 гг. Разреженные лесостепные сообщества днища котловины (I) характеризуются наибольшими абсолютными значениями приростов с максимумом в середине XX в. и их высокой синхронной межгодовой изменчивостью.

Сомкнутые древостои таежных геосистем II, IV, V обладают меньшими абсолютными значениями, меньшей межгодовой изменчивостью, высокой согласованностью приростов. Максимум приростов деревьев геосистем IV и V приходится на начало XX в.

Для лиственничников озерных террас (III) характерен особый тип изменчивости приростов с двумя максимумами приростов в середине и в конце XX в., низкой кросс-корреляцией хронологий, что связано с разнонаправленностью тенденций роста лиственниц второй озерной террасы и подножья коренного склона, подверженных влиянию изменения уровня озера Тере-Холь.

На фоне различных типов изменчивости продукционного процесса во всех местообитаниях выделяются экстремальные годы с минимальными (1911, 1919, 1931, 1970 и 1997 гг.) и максимальными (1909, 1953, 1968, 1977 и 2005 гг.) значениями приростов.

В 1906–2008 гг. в среднем 38 % изменчивости приростов лиственниц связано с влиянием автохтонных факторов, 62 % изменчивости – с аллохтонными факторами.

Автохтонная изменчивость. Максимальный вклад автохтонной составляющей изменчивости ($R^2 = 0,92$) наблюдается в сомкнутых лиственничниках северного склона (IV) с экспоненциальной формой кривой роста. Для деревьев характерна высокая начальная скорость роста (до 4 мм) при низком уровне стабилизации приростов (0,3–0,4 мм).

Наиболее чувствительны к влиянию аллохтонных факторов лиственничники днища котловины (I) и озерных террас (III), что выражается в высокой изменчивости приростов внутри одной хронологии и в слабой выраженности кривой роста (вклад кривой роста $R^2 = 0,16–0,18$). Лиственницы медленно растут в начале жизни (I), но имеют высокий уровень стабилизации приростов (до 3 мм).

В лесостепном днище котловины более контрастно проявляются заморозки, засухи, сильные ветры, резкие колебания температуры и осадков, на озерных террасах – колебания уровня грунтовых вод, вызванные изменениями уровня озера. Сомкнутые лиственничники на северном склоне защищены от действия сильного ветра, здесь не так остро, как в лесостепи, проявляется в летний период жара, недостаток влаги компенсируется оттаиванием мерзлоты и подпиткой корней деревьев этой влагой.

Аллохтонная изменчивость. Изменчивость индексированных приростов разложена на независимые составляющие методом главных компонент. Первые три компонента в

сумме описывают 63 % аллохтонно обусловленной изменчивости (рис. 3).

Первая компонента воспроизводит 34 % изменчивости индексированных приростов 112 деревьев, описывает максимум приростов в середине XX в. (1935–1970 гг.). Компонента повторяет среднюю индексированную кривую для днища котловины (I, $R^2 = 0,93$), сходна с кривыми лиственниц междуречья (V, $R^2 = 0,38$) и озерных террас (III, $R^2 = 0,24$).

Двадцать два процента изменчивости первой компоненты описывается осадками июня и июля текущего вегетационного сезона и осадками июня предыдущего вегетационного сезона: чем больше осадков, тем больше прирост. Другие климатические переменные не имеют статистически достоверной связи.

На июнь-июль приходится безморозная часть вегетационного периода, особенно значимая для ростовых процессов. В условиях резко континентального климата с коротким жарким и сухим летом недостаток влаги в июне-июле ведет к иссушению лесостепных условий местообитания (I), лимитируя прирост.

В меньшей степени к летним осадкам чувствительны деревья автономных позиций (междуречье, V) на грубогумусовых аккумулятивных почвах, где отсутствуют дополнительные источники увлажнения почвы в виде мерзлоты.

Летние осадки – основная приходная часть водного баланса озера Тере-Холь. При малом количестве летних осадков уровень грунтовых вод понижается, деревья склона делювиально-пролювиального шлейфа на второй озерной террасе (III) испытывают недостаток влаги. При этом лиственницы, произрастающие непосредственно на второй озерной террасе, к этому фактору не восприимчивы.

Вторая компонента описывает 18 % изменчивости индексированных хронологий, характеризуется максимумом значений в начале XX в. (1914–1924 гг.), значима для лиственниц днища долины ручья Айыл (II, $R^2 = 0,21$), озерных террас (III, $R^2 = 0,26$).

Тридцать семь процентов изменчивости с обратной связью описываются осадками текущего и предшествующего вегетационного периодов (июнь, июль, август): чем больше осадков, тем меньше прирост.

Лиственничники супераквальных позиций днища долины ручья Айыл и озерных террас на криоземах в летний период не испытывают недостатка влаги в корнеобитаемом слое. Обильные летние осадки вызывают повышение уровней ручья Айыл и озера Тере-Холь, при которых возможно частичное затопление днища и первой озерной террасы, что негативно сказывается на приростах чувствительной к переувлажнению лиственницы.

Третья компонента воспроизводит 11 % аллохтонно обусловленной изменчивости, характеризует экстремально высокие приросты в 1909 г., низкие приросты во второй половине XX в. (1962–1997 гг.), постепенное увеличение приростов начиная с 1998 г.

К третьему фактору наиболее чувствительны таежные сообщества на криоземах: днище долины ручья Айыл (II, $R^2 = 0,64$), склоны северной экспозиции (IV, $R^2 = 0,58$), с меньшей чувствительностью междуречий (V, $R^2 = 0,27$). Компонента на 23 % отрицательно описывается температурами холодного периода – января и марта: чем холоднее, тем больше прирост в предстоящий вегетационный период. Механизм отрицательного влияния зимних температур на прирост не очевиден. Вероятно, низкие зимние температуры способствуют большому промерзанию почвы и создают влагоза-

пас для предстоящего вегетационного сезона. В связи с этим мерзлотные геосистемы (II, IV) не чувствительны к осадкам летнего периода.

Важно отметить, что приведенные компоненты изменчивости – лишь обобщенные независимые типы изменчивости приростов, а не сами факторы таковой изменчивости. Доступные климатические данные описывают меньше половины дисперсии компонент, однако $R^2 > 0,2$ в условиях строгого F-критерия при пошаговой регрессии позволяет предполагать наличие связи. Возможно, климатический сигнал был бы выше при использовании данных метеостанций.

Предложенный подход с использованием методов главных компонент и регрессионного анализа позволяет более строго оценивать влияние локальных условий местообитания на трансформацию климатического отклика, нежели применение для этих целей корреляций между индексированными хронологиями из разных местообитаний и климатическими данными, дает возможность исключить из анализа случайные комбинации.

Вклад независимых типов изменчивости годовых приростов древесины, интерпретированных с точки зрения климата, в изменчивость приростов разных местообитаний (геосистем) можно рассматривать как количественную оценку трансформации региональных факторов внутриландшафтной неоднородностью, что представляет особый интерес для индикационного структурно-функционального ландшафтоведения.

Заключение

Динамика радиальных приростов лиственницы сибирской в Терехольской котловине Тывы в XX в. в большей степени обусловлена влиянием аллохтонных факторов (62 %), чем автохтонных (38 %). Ведущим фактором изменчивости продукционного процесса выступает региональная динамика метеорологических показателей, трансформированных в разной степени неоднородностью ландшафтных условий. Для лесостепных сообществ котловины значим фактор летнего увлажнения: чем больше осадков, тем больше прирост. Автономные таежные сообщества междуречий и супераквальные таежные сообщества в днище долины местного водотока чувствительны к режиму тепло- и влагообеспеченности. Лесные сообщества в днище долины ручья в условиях достаточного обеспечения влагой за счет мерзлоты, существующего водотока чутко реагируют на обильные летние осадки понижением приростов. Таежные сообщества склонов северной экспозиции не восприимчивы к режиму увлажнения, реагируя на изменение теплообеспеченности в зимний период. Динамика приростов лиственниц на озерных террасах озера Тере-Холь связана с глубиной грунтовых вод, зависящих от уровня озера. Установлено, что последние 100 лет характеризовались повышенным увлажнением в середине XX в. и высоким уровнем озера в 1947–1954 гг., последующим резким критическим его снижением в 1970 г. в результате череды сухих лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Ученого Совета географического факультета МГУ молодым ученым (2010–2011 гг.), Российского фонда фундаментальных исследований (09-04-01742-а, 09-05-00351-а, 11-05-01203-а).

Список литературы

Бабушкина Е.А., Ваганов Е.А., Силкин П.П. (2010) Влияние климатических факторов на клеточную структуру годичных колец хвойных, произрастающих в различных топоэкологических условиях лесостепной зоны Хакасии. Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2 (3): 159–176.

Бабушкина Е.А., Кнорре А.А., Ваганов Е.А., Брюханова М.В. (2011) Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев в зависимости от топоэкологических условий произрастания. География и природные ресурсы. 1: 159–166.

Боровиков В.П. (2006) Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows: основы теории и интенсивная практика на компьютере. М.: Финансы и статистика, 368 с.

Велисевич С.Н., Хуторной О.В. (2009) Влияние климатических факторов на радиальный рост кедра и лиственницы в экотопах с различной влажностью почвы на юге Западной Сибири. Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 1 (2): 117–132.

Выгодская Н.Н., Горшкова И.И. (1987) Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности. Л., Гидрометиздат, 248 с.

География, общество, окружающая среда. Функционирование и современное состояние ландшафтов (2004) Под ред. проф. К.Н. Дьяконова и проф. Э.П. Романовой. Т. II. М.: Издательский дом «Городец», с. 19–240.

Климат СССР. Справочник. Влажность воздуха атмосферные осадки, снежный покров. (1969) Л.: Гидрометеиздат. Вып.21. 402 с.

Климат СССР. Справочник. Температура воздуха и почвы. (1967) Л.: Гидрометеиздат. Вып.21. 504 с.

Ландшафтная карта СССР (1988). М-б 1:4 000 000. Гл. ред. Исаченко А.Г.

Николаев А.Н., Федоров А.Н., Угаров И.С., Торговкин Я.И., Ефремов П.В., Аргунов Р.Н. (2011) Влияние характера мерзлотных ландшафтов на рост лиственничных древостоев в Центральной Якутии. Вестник Северо-Восточного Федерального Университета им. М.К. Аммосова. Якутск, Изд-во СВФУ, 1, с. 25-35.

Пузаченко Ю.Г. (2004) Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 416 с.

Российский гидрометеорологический портал <http://www.meteo.ru>.

Сандлерский Р.Б. (2006) Оценка потенциальной биологической продуктивности южно-таежных ландшафтов по данным дистанционного зондирования. Тр. Междунар. шк.-конф. «Ландшафтное планирование. Общие основания. Методология. Технология». М., Геогр. фак. МГУ, с. 217–221.

Сочава В.Б. (2005) Теоретическая и прикладная география. Новосибирск: Наука, с. 130–147.

Шиятов С.Г., Ваганов Е.А. и др. (2000) Методы дендрохронологии. Ч.1 Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск, КрасГУ, 80 с.

Bronnikova M.A., Panin A.V., Turova I.V., Uspenskaya O.V., Kuznetsova E.P., Khohlova O.S. (2011) Cryo-geomorphological evolution of soils on islands of Terekhol Lake, Tuva, Southern Siberia. Eurasian Soil Science 43 (13): 1503–1514.

Cook E.R., Holmes R.L. (1999) Program ARSTAN. Chronology development with statistical analysis. Users manual for Program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona USA, 12 p.

CRU TS 2.1.: http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/timm/grid/CRU_TS_2_1.html.

Methods of Dendrochronology. Application in the Environmental Sciences (1990). Eds. Cook E.R., Kairiukstis L.A.. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publ., 394 p.

Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P. D., Hulme M., New M. (2004) *A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the Globe: The observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100)* (Tyndall Centre for Climate Change Res., Norwich, U.K.), Working Paper 55.

New M., Lister D., Hulme M., Makin I. (2002) A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research* 21: 1–25.

Peters K., Jacoby G.C., Cook E.R. (1981) Principal components analysis of tree-ring sites. *Tree-Ring Bulletin* 41: 1–19.

Rinn F. (2003) TSAP-Win time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications: version 0.53 for Microsoft Windows. Heidelberg Rinn Tech. p. 1–88.

Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. (2006) Growth dynamics of conifer tree rings. Images of past and future environment. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, p. 1–71.

Tree-Ring Variability of Larch (*Larix Sibirica* Ledeb.) in Different Landscape Positions of the Terekhol Depression, Tuva, Russia in the 20th Century

Ekaterina P. Kuznetsova and Daniil N. Kozlov
*Lomonosov Moscow State University
Leninskie gory, GSP-1, Moscow, 119991 Russia*

*Dendroecological approach was applied to study of fundamental problem in landscape science – a relationship between pattern and functioning of landscape. Using the tree-ring width of larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in different environmental conditions we analyzed the transformation of regional (climatic) factors by landscape pattern heterogeneity. The study area is south-western part of Terekhol Depression in Tuva region, Russia. The considered time period is 1906-2008. It was found that the dynamics of tree-ring growth depends on external factors (62%) rather internal ones (38%). Major components of radial growth variability were identified and their interpretation was discussed. The contribution of each component to growth variability of trees was calculated in various sites. The results show that the main factor of variability is the regional dynamic of meteorological parameters transformed into spatially heterogeneous landscape. The factor of summer precipitation (June-July) of current and last growth season is especially significant for the forest-steppe plant communities. The*

autonomous taiga ecosystems of watershed without permafrost and superaqueous taiga ecosystems on Cryosol at the bottom of small stream are sensitive to precipitation and temperature regime. Boreal forest communities on the north slopes of Terekhol Depression are not susceptible to moisture regime. The dynamic of larch tree-ring growth on the lake terraces related to the groundwater depth, depending on the lake level.

Keywords: dendroecology, tree-ring growth, Siberian larch, local conditions, landscape heterogeneity, climate, Tuva.
