

ПРОБЛЕМА ХРОНОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ ДВИЖЕНИЯ СВОЙСТВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Сообщение 2

© 2015 г. М. А. Проскуряков

*Институт ботаники и фитоинтродукции
Министерства образования и науки Республики Казахстан
Республика Казахстан, 050040, Алматы, ул. Тимирязева, 36д*

E-mail: proskuryakov_137@mail.ru
Поступила в редакцию 21.07.2014 г.

На основе обобщения материалов многолетних исследований показано устойчиво проявляющееся действие закона пространственно-временной цикличности движения свойств лесных организмов и их экосистем. Действие этого закона должно учитываться как в научных исследованиях, так и при использовании лесов, для сбережения их биоразнообразия, продуктивности и ресурсной ценности. Предложено концептуальное решение проблемы анализа цикличности пространственно-временного движения свойств лесных организмов и экосистем, которое позволит вести лесное хозяйство с наименьшими затратами и рисками. В данной связи показаны возможности применения хронобиологического анализа временных рядов для оценки циклических изменений степени уязвимости, направления, скорости и величины смещения свойств лесных растений и экосистем. Рассмотрены особенности решения задачи создания экологически организованных сетей хронобиологических стационаров и алгоритмы интерполяции результатов их наблюдений за циклическим движением свойств лесных экосистем на территории крупных регионов. Определены новые актуальные направления связанных с этим теоретических и прикладных исследований. Развитие таких направлений исследований повысит устойчивость и рентабельность лесопользования, избавит его от многих рисков, обеспечит наибольшую естественную продуктивность лесных экосистем, сократит неэффективные затраты труда и времени на восстановление и сбережение биоразнообразия и продуктивности лесов как важнейшего самовозобновляющегося ресурса Земли.

Ключевые слова: *лесные экосистемы, хронобиология, цикличность движения, растения, климат.*

DOI: 10.15372/SJFS20150607

В опубликованной первой части этой статьи (Проскуряков, 2015) рассмотрены главные аспекты проблемы хронобиологической цикличности движения свойств лесных экосистем, выяснены принципы концептуального, т. е. общего, замысла решения проблемы, определены последовательность и логика изложения материалов. Данная часть статьи посвящена дальнейшей детализации вопросов концептуального решения проблемы, а ее содержание будет систематизировано в последовательности принятых за основу принципов, второй из которых – **использование временных рядов как высокочувствительной основы анализа движения свойств лесных**

организмов и экосистем в режиме нон-стоп. Этот принцип получил широкое признание на ранних этапах становления многих биологических наук. Применение данного принципа считалось целесообразным и в геоботанике. Так, например, известный российский геоботаник Л. Г. Раменский, имея в виду настоятельную необходимость преемственных наблюдений с учетом фактора времени, еще в 1938 г. писал: «Хронологические ряды – результат стационарных наблюдений над сменами условий и растительности в течение ряда лет. Эти наблюдения освещают вопросы состава растительности, устойчивости и смены растительных группировок в зависимости от

разнообразных изменений внешних условий» (Раменский, 1938, с. 154).

И действительно, многолетние хронобиологические исследования поведения лесных организмов в режиме меняющегося климата Земли позволяли получать эмпирические ряды количественных данных, которые весьма точно отражали временную изменчивость движения их свойств. По мере развития науки совершенствовались приемы сбора и статистического анализа материалов хронобиологических наблюдений. Широкое применение получили метод расчетов автокорреляции данных временных рядов для диагностики наличия цикличности в процессах изменения изучаемых свойств организмов (Moran, 1952; Pool, 1978), а также метод индексной оценки первичных материалов хронобиологических наблюдений, позволяющий объективно исключать влияние фактора возраста лесных растений. Более подробный анализ истории развития исследований временных рядов, получаемых при изучении древесных растений, дан в монографии Т. Т. Битвинскаса (1974) и в книге С. Г. Шиятова и др. (2000).

С учетом проиллюстрированной специфики временных рядов для их анализа целесообразно использовать системный подход и общепринятое представление о процессуальных системах, работа которых как раз и понимается как последовательность смены явлений, состояний во времени развития какого-либо процесса (Горохов, 1972; Никаноров, 1972; Садовский, 1972; Юдин, 1972, 1973а, б; Гаазе-Рапопорт, 1973). Согласно этим представлениям, входом в процессуальную систему является период ее жизни, т. е. временной интервал, в течение которого она существует. Период жизни каждой процессуальной системы (T) имеет ряд состояний S_0, S_1, \dots, S_n , а выходом процессуальной системы являются результаты ее работы. С общеметодологических позиций, изучая зависимость между входом и выходом процессуальной системы путем использования аппарата вероятностных и статистических методов, можно анализировать ее поведение, даже не зная, как она устроена (Вентцель, 1969; Одум, 1975).

Следуя этим представлениям, к числу процессуальных систем можно отнести и лесные организмы, а также формируемые ими экосистемы (Проскураков, 2008, 2012), поскольку

работа каждой биологической системы тоже отражается последовательностью смены ее состояний в режиме времени. И входом в процессуальную биологическую систему также является период жизни (интервал лет), в течение которого изучается ее работа, а его конкретными состояниями – охваченные исследованиями годы наблюдений. Выход процессуальной биологической системы – исследуемые свойства лесных организмов и экосистем, трансформируемые в период циклично меняющейся среды их обитания. Отсюда ясно, что, *изучая связь между входом (периодом жизни) и выходом (результатами работы процессуальной биологической системы), можно на статистически значимом уровне исследовать динамику циклических изменений движения важнейших свойств лесных организмов и экосистем.*

Как и в отношении всех других объектов (Вентцель, 1969; Лакин, 1990; StatSoft, 2001; Едророва, Малафеева, 2007; Шмойлова и др., 2009; Соболев и др., 2010), характерной особенностью временных рядов лесных экосистем является то, что в качестве независимой переменной X здесь всегда выступает фактор времени, а зависимой Y – изменяющиеся свойства лесных организмов и экосистем. Связь между переменными X и Y носит односторонний характер, так как фактор времени не зависит от изменчивости свойств растений. Однако эмпирические временные ряды хронобиологических наблюдений интегрально отражают влияние не только основных, но и многочисленных других факторов, затушевывающих главную тенденцию (тренд) в динамике изменения свойств лесных организмов и экосистем. Вследствие этого решение задачи анализа движения систематической, регулярной составляющей изменений свойств лесных организмов и экосистем осложняется вариабельностью их характеристик, создающих «шум», затрудняющий обнаружение регулярной компоненты. Найти способ фильтрации такого шума можно, используя статистические методы анализа.

Для этого целесообразно применить корреляционный и регрессионный анализы связи, позволяющие выявлять и исследовать регулярную (систематическую) компоненту, отражающую динамику движения свойств лесных организмов и формируемых ими эко-

систем, притом в режиме времени непрерывно и циклично флюктуирующего интегрального воздействия факторов среды их обитания. Алгоритмы изучения криволинейных корреляционных связей и проверки нулевой гипотезы ($H_0: \eta = 0$) выборочных статистических показателей, а также построения линий регрессии общеизвестны (Плохинский, 1961; Доспехов, 1973; Лакин, 1990; StatSoft, 2001). С их помощью можно определять корреляционное отношение, ошибку, критерий существенности, доверительный интервал корреляционного отношения, коэффициент детерминации; получать координаты графических линий регрессии и их аналитические формулы, отражающие временной ход изменения характеристик лесных экосистем. Вместе с тем на этой же основе может быть выполнена числовая оценка скорости, величины и направления смещения регулярной компоненты характеристик лесных экосистем (Проскуряков, 2013), что позволит еще полнее использовать чувствительность временных рядов.

Сказанное можно пояснить результатами хронобиологического анализа циклического смещения даты начала плодоношения широко известного сорта лещины Тамбовский ранний *Corylus avellana* 'Tambovskiy ranniy', полученного не с помощью гибридизации, а путем отбора растений лещины обыкновенной *Corylus avellana* L. в естественно формирующихся лесах Тамбовской области и последующего их вегетативного размножения на опытных плантациях, что способствовало высокой генетической выровненности анализируемого материала (Проскуряков и др., 2013). Интродукция и наблюдения за этими растениями лещины проводились в Главном ботаническом саду Института ботаники и фитоинтродукции (г. Алматы) с 1995 по 2012 г., именно в тот период, когда происходили весьма интенсивные изменения климата. В процессе наблюдений обеспечивалось соблюдение принципа единственного различия – меняющегося климатического режима местности. Расчет вспомогательных величин, необходимых для вычисления корреляционного отношения и координат линии регрессии даты созревания плодов сорта Тамбовский ранний, выполнялся по ранее опубликованной методике (Проскуряков, 2009, 2012).

Накопленный временной ряд данных (рис. 1) отражает весьма существенную изменчивость сроков созревания плодов лещины. Регулярная (систематическая) составляющая этих изменений нередко затушевывается имеющей место вариабельностью («шумом») сроков созревания плодов. Поэтому применение здесь корреляционного и регрессионного анализов с целью фильтрации «шума» и выявления регулярной компоненты вполне оправданно.

Путем корреляционного анализа установлено, что сроки наступления фазы созревания плодов тесно коррелируют с изученным периодом времени изменения климата. Величина корреляционного отношения между датой начала фазы созревания плодов и изученным периодом времени изменения климата $\eta_{yx} = 0,99 \pm 0,04$ (при коэффициенте детерминации $d_{yx}^2 = 0,98$), а 95%-й доверительный интервал корреляционного отношения находится в пределах $0,99 \pm 0,01$. Нулевая гипотеза об отсутствии связи отвергается на высоком уровне значимости, так как $t_{\eta_{факт}} = 26,106$ больше $t_{табл.001} = 4,073$. Следовательно, с вероятностью 99,9 % здесь можно констатировать наличие статистически значимой, близкой к функциональной связи. А если судить по коэффициенту детерминации, то 98 % доли вариации сроков созревания плодов определяются их согласованностью с временной шкалой изученного периода изменения климата. Величина корреляционного отношения с вероятностью до 99,9 % подтверждает высокую степень уязвимости изученной фазы развития. Все это дает основания для построения и анализа линии регрессии даты созревания плодов лещины.

Для решения такой задачи можно воспользоваться корреляционной таблицей, по которой, как известно, рассчитываются вспомогательные величины при вычислении корреляционного отношения, его статистических оценок, а также значений групповых средних (\bar{x}_y и \bar{y}_x), являющихся координатами линии регрессии (Доспехов, 1973). Нанеся на график соответствующие им точки (отмечены на рис. 1 маркерами с указаниями года) и соединив их, мы получим линию регрессии, которая с достаточным приближением отражает поведение регулярной (систематической) компоненты для принятого в корреляционной таблице порядка группировки данных.

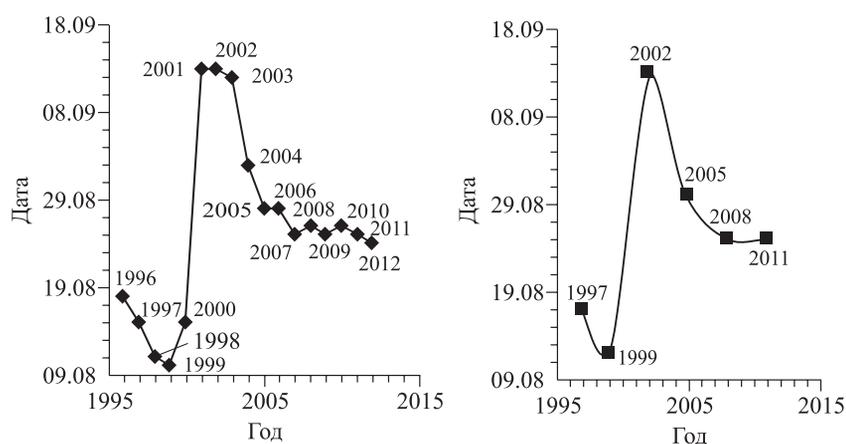


Рис. 1. Временной ряд (слева) и линия регрессии (справа) даты созревания плодов сорта *Corylus avellana* 'Tambovskiy rannii'.

Динамика смещения линии регрессии даты созревания плодов сорта *Corylus avellana* 'Tambovskiy rannii'

Период линии регрессии, годы	Длительность периода, лет	Дата фенофазы в начале и в конце периода	Направление и величина смещения фенофазы, дней	Скорость смещения фенофазы, дней/год
1997–1999	2	17 авг. – 12 авг.	–5	2.5
1999–2002	3	12 авг. – 13 сен.	32	10.7
2002–2005	3	13 сен. – 30 авг.	–14	4.7
2005–2008	3	30 авг. – 25 авг.	–5	1.7
2008–2011	3	25 авг. – 25 авг.	0	0.0

Линия регрессии рис. 1 свидетельствует о том, что за наблюдаемый период имели место очень существенные циклические смещения даты созревания плодов лещины и что процесс этот шел крайне неравномерно. Для того чтобы получить числовые оценки скорости и величины смещения даты созревания плодов, нужно воспользоваться координатами линии регрессии. Эти данные помещены в таблице (см. графы 1 и 3). Длительность каждого периода линии регрессии записана в графе 2. Направление и величину смещения фенофазы легко рассчитать как разность дат начала и конца периода (по данным графы 3). Результаты этого расчета записаны в графе 4. Полученные оценки скорости по каждому периоду линии регрессии записаны в 5-й графе таблицы.

Линия регрессии (см. рис. 1) и материалы таблицы иллюстрируют, что с 1997 по 1999 г. созревание плодов лещины началось на 5 дней раньше. Это изменение шло со скоростью 2.5 дня в год. Но в последующие 3 года (до 2002 г.) оно быстро (со скоростью

10.7 дней в год) и мощно (на 32 дня) сместилось в позднюю сторону. С 2002 по 2011 г. цикл ее смещения направлен только в раннюю сторону: с 2002 по 2005 г. – на 14 дней (при скорости 4.7 дня в год), а с 2005 по 2008 г. – еще на 5 дней (со скоростью 1.7 дня в год). В период с 2008 по 2011 г. смещение остановилось. В итоге за период с 2002 по 2011 г. созревание плодов лещины снова стало происходить раньше, но уже на 19 дней.

Рассмотренное методическое решение позволяет интегрально учитывать влияние всей имеющейся совокупности причин, детерминирующих движение свойств лесных организмов и экосистем, а вместе с тем дает возможность получать статистически значимые количественные результаты анализа временных рядов, отражающие движение свойств и уязвимость лесных экосистем. Исходя из общепринятых представлений о коэффициентах детерминации (Лакин, 1990), можно дифференцировать и степень уязвимости свойств лесных экосистем. При $\eta_{yx} = 0.5 \div 0.6$

их уязвимость является средней; $\eta_{yx} < 0,5$ указывает на слабую уязвимость, а $\eta_{yx} \geq 0,7$ – на сильную уязвимость (Проскураков, 2012).

Все это найдет применение в исследовании широкого спектра свойств лесных экосистем. И хотя получаемые результаты хронобиологического анализа временных рядов полностью не раскрывают биологическую суть происходящих процессов, с их помощью можно количественно и на статистически значимом уровне исследовать циклическую трансформацию характеристик растений и их биотических связей, что открывает возможность выяснять динамику ресурсной ценности каждого таксона и каждой лесной экосистемы в любой период их жизни, позволяет определять реактивность системообразующих компонентов лесных ассоциаций, индикаторных представителей лесных экосистем и делать объективные заключения об их устойчивости. В итоге удастся выявлять основные типы адаптационной стратегии лесных экосистем и временной ход процесса их циклической трансформации в режиме времени изменения климатических условий. И, что особенно важно, становится возможным количественно оценивать биологическую устойчивость и ресурсную ценность растений, сопутствующих им организмов, а также формируемых ими экосистем в любой период их жизни как при потеплении, так и при похолодании климата.

Высокая чувствительность временных рядов позволяет получать статистически значимые числовые оценки степени уязвимости свойств растений, а также графические линии регрессии и аналитические формулы, количественно отражающие временной ход циклического изменения их характеристик. Она дает возможность выяснить скорость, направление и величину смещения регулярной (систематической) компоненты циклического движения свойств лесных организмов и экосистем, помогает обнаруживать такие сдвиги, которые оказываются существенными, угрожают выживаемости организмов, превышают уровень их адаптационной способности и свидетельствуют об их высокой уязвимости. Благодаря чувствительности временных рядов становится реальным оценивать стабильность или уязвимость каждой лесной экосистемы и ее свойств в динамике их циклического движения, а также определять критические периоды жиз-

ни лесных экосистем, в которые будет происходить их необратимая трансформация.

Вся информация, получаемая с помощью хронобиологических исследований временных рядов, нужна для того, чтобы уверенно ориентироваться в происходящих изменениях лесных организмов и экосистем. Без нее невозможны ни объективное проектирование лесоводственных мероприятий, ни их практическая реализация.

Но для эффективного использования этих результатов в масштабах крупных лесных регионов недостаточно знать движение свойств лесных экосистем лишь в пунктах хронобиологических наблюдений. Необходима системно организованная и экологически ординированная сеть ключевых хронобиологических стационаров, позволяющая выполнять интерполяцию их данных на территорию крупных лесных регионов. Для создания такой сети стационаров следует, прежде всего, определить координаты их размещения.

Принцип континуума растительного покрова и его градиентного анализа как раз и поможет решить задачу определения координат размещения экологически ординированной сети стационаров хронобиологических наблюдений.

Как известно, впервые концепция пространственной непрерывности (континуума) растительного покрова предложена русским геоботаником Л. Г. Раменским (1910). Дальнейшее развитие его идеи получили в работах многих исследователей. Но некоторое время имели место разногласия между сторонниками разных подходов: классификационного и использования ординации растительных систем на основе концепции континуума и методов градиентного анализа. Однако в процессе развития науки большинством исследователей было достигнуто согласие в том, что сочетание подходов даст более полное представление о растительности (Работнов, 1983).

Для определения координат размещения экологически ординированной сети стационаров важно иметь в виду два следующих основных варианта решения задачи:

- в горных регионах, где в связи с особенностями перераспределения тепла и осадков проявляется высотно-климатическая поясность растительного покрова, а вместе с тем имеют место и исключительно высокая его

пестрота и мозаичность, детерминируемая варьированием инсоляционного режима склонов разной ориентации;

- на территории плакоров, где закономерности размещения и поведения лесных растений и экосистем внутри континентов подчиняются законам зональности, при этом зональные лесные биоценозы типично выражены на просторах крупных водораздельных равнин, в которых характеристики лесных растений и экосистем постепенно дифференцируются по климатическим, биогеографическим и почвенным особенностям в связи с преимущественно широтным распределением солнечного тепла. На пограничных территориях континентов эти закономерности корректируются еще и влиянием соседних морей и океанов.

Несмотря на отмеченные особенности обоих вариантов, решение задачи ординации размещения хронобиологических стационаров может выполняться на основе результатов градиентного анализа. Это позволит объективно определить координаты ключевых хронобиологических стационаров и разместить их с минимальными экономическими затратами.

В порядке иллюстрации возможностей градиентного анализа растительного покрова вначале остановимся на результатах исследований двух горных районов (рис. 2). На верхней диаграмме рис. 2 представлены материалы, иллюстрирующие континуум растительного покрова гор Санта-Каталина штата Аризона (в США) по результатам градиентного анализа, выполненного Р. Уиттекером. В качестве основных детерминирующих факторов им учитывались высота над уровнем моря и топографическое увлажнение склонов, которое диагностировалось по их ориентации (Whittaker, 1956; Уиттекер, 1980). Согласно исследованиям Р. Уиттекера, пространственное разнообразие растительности гор, жизненных форм доминантных видов и их биологическая продуктивность отражают изменения условий топографического увлажнения по мере подъема в горы. При этом смена жизненных форм происходит непрерывно.

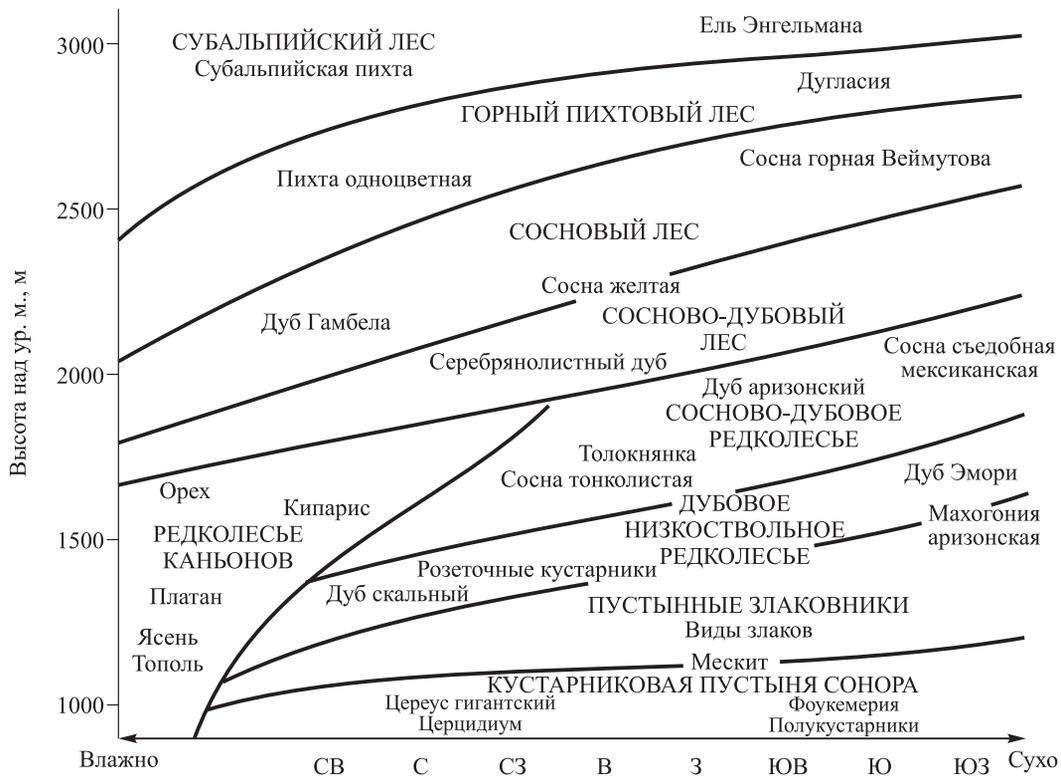
С изменением абсолютной высоты сменяют друг друга хвойные породы, склерофильные деревья с примесью вечнозеленых склерофилов и розеточных кустарников, злаки, колючие кустарники и полукустарники пу-

стыни. Работа на уровне схем растительных систем помогла Р. Уиттекеру выяснить преобладающие климатогенные тенденции континуума в распределении горных растений.

Снизу на рис. 2 размещена градиентная шкала, отражающая результаты количественного анализа встречаемости доминантов естественно формирующегося лесного покрова центральной части крупного горного хребта Заилийского Алатау, расположенного в Северном Тянь-Шане (Проскуряков, 1983, 2012). Здесь представлены леса с преимущественным участием ели Шренка *Picea schrenkiana* Fisch. Et Mey., осины *Populus tremula* L., абрикоса *Armeniaca vulgaris* Lam. и яблони *Malus sieversii* (Ldb.) M. Roem. Слева на градиентной шкале отложена абсолютная высота местности. Снизу по оси абсцисс указана величина возможного годового прихода прямой солнечной радиации, определяемая с учетом азимута и крутизны поверхности горных склонов. В центре каждой клетки шкалы даны величины статистически значимых оценок встречаемости лесообразующих пород, вычисленные как доля (%) занятых ими круговых учетных площадок размером 16 м². Условные обозначения шкалы: Е – ель; Ос – осина; Аб – абрикос; Яб – яблоня. Пунктирными изолиниями показан класс бонитета древостоев ели Шренка. Детальное описание методики сбора и анализа исходного материала исследований дано в вышеупомянутых работах.

По материалам рассматриваемой градиентной шкалы легко заметить, что в силу обусловленной рельефом дифференциации общеклиматического фона местности Северного Тянь-Шаня размещение лесообразующих пород четко отражает сложный и пестрый континуум хорошо приспособленных к среде обитания лесных сообществ. При этом обилие каждой лесообразующей породы может варьировать в очень широких пределах в зависимости от состояния действующих факторов среды обитания и связанной с этим емкости экологической ниши.

Например, ель Шренка формирует наиболее продуктивные леса при бонитетах среднего II.5–III класса в пределах абсолютных высот 1700–2100 м над ур. м. на слабо инсолируемых северных склонах. Однако в границах верхних высотно-климатических поясов продуктивность ельников повышается уже не



Встречаемость основных лесообразующих пород (%) по градиентам абсолютной высоты местности и инсолируемости склонов. Изолинии бонитета ели Шренка							
Высота над ур. м., м	2500	8Е	13Е	26Е	33Е	42Е	47Е
	2400	17Е	23Е	31Е	34Е	32Е	39Е
	2300	27Е	31Е	35Е	33Е	33Е	32Е
	2200	36Е	40Е	39Е	33Е	28Е	25Е
	2100	43Е	44Е	42Е	34Е	25Е	19Е
	2000	47Е	42Е	42Е	34Е	22Е	14Е
	1900	51Е	48Е	42Е	33Е	19Е	8Е
	1800	49Е; 50с	44Е; 60с	32Е; 60с	30Е; 60с	17Е; 60с	6Е; 10с
	1700	43Е; 170с	32Е; 240с	32Е; 240с	25Е; 230с	260с; 15Е	220с; 5Е
	1600	36Е; 320с	36Е; 350с	390с; 26Е	440с; 21Е	440с; 14Е	450с; 4Е
1500	440с; 22Е; 1Аб; 1Яб	470с; 18Е; 2Яб	490с; 15Е; 2Яб	540с; 11Е; 1Яб	620с; 8Е; 1Яб	650с; 1Е	
1400	22Аб; 6Е; 6Яб; 30с	17Аб; 120с; 7Яб; 4Е	200с; 17Аб; 5Яб; 3Е	210с; 16Аб; 4Яб; 2Е	160с; 11Аб; 7Яб; 1Е	110с; 9Яб; 7Аб	
	60	75	90	105	120	135	
Градации возможного годового прихода прямой солнечной радиации, ккал/(см ² ·год)							

Рис. 2. Результаты градиентного анализа континуума растительности, выполненного в горах Санта-Каталина (вверху) и Северного Тянь-Шаня (внизу).

на северных, а на хорошо прогреваемых южных склонах. Совокупность смешанных лесов наиболее полно заселяет территорию в пределах абсолютных высот 1500–1800 м над ур. м. Здесь насаждения с участием ели и осины размещаются на склонах, ориентированных как на север, восток, запад, так и на юго-восток,

юго-запад. Там, где ель формирует наиболее продуктивные леса (по слабо инсолируемым склонам), она образует насаждения II.5 класса бонитета. А осина участвует лишь как примесь и встречается всего на 5 % площади насаждений. Со снижением абсолютной высоты до 1600 м на склонах этой же инсолируемо-

сти бонитет древостоев ели увеличивается до II.0 класса, но доля участия ели снижается, а осины увеличивается, и обе эти породы заселяют площадь уже в близком соотношении – 32–36 % встречаемости. На высоте 1500 м над ур. м. бонитет ели возрастает до I.5, однако она встречается лишь на 22 % площади насаждений, а осина занимает до 44 %. Причем к более инсолируемым склонам доля участия ели в формировании насаждений снижается (до 1–8 %).

В отличие от ели Шренка наиболее продуктивные осиновые леса формируются на лучше прогреваемых склонах нижней части лесного пояса (1500–1600 м над ур. м.). Здесь встречаемость осины в насаждениях достигает 65 %.

В целом с учетом характера изменения естественного соотношения осины и ели и их встречаемости в насаждениях можно констатировать, что градиентный анализ встречаемости пород отражает четко выраженное смещение фитоценотического и экологического оптимумов ели Шренка и осины. Объективным подтверждением такого факта служат высокий бонитет у ели в нижней части лесного пояса и в то же время ее незначительное участие в формировании древостоев. Данное явление объясняется тем, что в нижней части лесного пояса ель Шренка вытесняется осиной, как конкурентно более мощным доминантом.

Накопленный опыт применения рассмотренного подхода к градиентному анализу растительности в различных регионах гор Северного, Центрального, Западного Тянь-Шаня и Рудного Алтая (Проскуряков, 1973, 1974, 1977, 1978, 1983; Проскуряков и др., 1986) подтвердил целесообразность применения градиентного анализа и концепции континуума лесной растительности даже в крайне жестких условиях исключительного разнообразия и чрезвычайно резкой смены среды обитания растений в горах.

На фактическом материале, собранном в процессе этих исследований, выяснилось, что градиентный анализ позволяет количественно и на статистически значимом уровне дифференцировать не только континуум биологической продуктивности, структуры лесных экосистем и емкости занимаемых ими экологических ниш. Оказалось возможным дифференцировать и разнообразие видового, формового состава лесных насаждений, качества

продуцируемых семян, направление и характер конкурентных взаимодействий лесообразующих пород, состояние их естественного возобновления (Проскуряков, 1983, 2012; Проскуряков и др., 1986).

Таким образом, в горах решение задачи определения координат размещения сети ключевых пунктов стационарных наблюдений должно выполняться с учетом результатов градиентного анализа горизонтальной структуры лесной растительности. Для таких целей в горных регионах (и местности с пересеченным рельефом) целесообразно использовать систему координат, подобную проиллюстрированной на рис. 2. На этой основе можно решить задачу экономически эффективно, т. е. при минимальном количестве ключевых пунктов стационарных наблюдений, и получить возможность репрезентативно охватить все имеющееся разнообразие лесных экосистем, а в дальнейшем уверенно интерполировать полученные данные на экологические ситуации внутри созданной сети ключевых пунктов стационарных наблюдений.

Для проектирования сети ключевых пунктов стационарных наблюдений в условиях равнинных регионов с преобладанием плакоров удобнее использовать картографическую основу. Она также позволит учесть особенности континуума лесных экосистем и результаты их градиентного анализа. В первом приближении представление о географических масштабах градиентного разнообразия и континууме лесных экосистем очень крупных равнинных регионов северных широт можно получить по материалам «Атласа лесов СССР» (1973). Атлас отражает широтные тенденции континуума лесной растительности для территории свыше 1.2 млрд га (более 1/5 покрытой лесом площади земного шара). В нем даны количественная и качественная характеристика состояния лесов, их породный состав, продуктивность. Помещены карты, содержащие информацию о количественных и качественных показателях лесных ресурсов, ареалах древесных пород, размещении основных лесных формаций по территории, лесистости. Имеются карты распространения и численности наиболее важных представителей флоры и фауны. Фиксируемые атласом изменения лесной растительности хорошо согласуются с распределением климатических

поясов и областей континента, разнообразие которых детализировано в работе Б. П. Алисова и Б. В. Полтараус (1974). Материалы атласа очень ценны для понимания зональной тенденции градиентной дифференциации и континуума лесных экосистем, которые должны учитываться при ординации сети хронобиологических стационаров весьма крупных лесных регионов плакорных территорий. В этом аспекте большую ценность имеет и опыт продолжающихся градиентных исследований лесных экосистем сверхкрупных равнинных территорий, выполненных на примере Российской Федерации (Усольцев, 2002, 2014).

Однако, как известно, всегда имеющая место неоднородность рельефа (из-за наличия оврагов, холмистости) даже внутри территорий с преобладанием плакоров создает мозаичность в распределении растительного покрова. Это осложняет решение практических задач размещения хронобиологических стационаров, а также интерполяции результатов их работы на плакорах и вызывает необходимость доработки документов, подобных обсуждаемому атласу, с целью уточнения границ и изменений состояния лесных экосистем, расположенных на территории плакора. Решению данных задач помогут современные методы компьютерного картографирования, сопряженного с лазерно-локационной съемкой Земли и леса. Возможности использования спутниковой съемки рассмотрены в ряде специальных публикаций (Danilin, Medvedev, 2004; Coppin et al., 2004; Медведев и др., 2007). Поэтому останавливаться на них подробнее здесь мы не будем. Отметим лишь, что имеющиеся технологии позволяют выполнять трехмерный анализ земной поверхности, структуры, биомассы и других характеристик леса по данным лазерной локации и спутниковых систем глобального позиционирования. Их применение поможет интегрировать полученные результаты в геоинформационных системах и для целей дистанционного мониторинга размещения и трансформации именно плакорных лесов, причем с высокой точностью, при минимуме наземных работ, значительной экономии времени и финансовых средств.

В свете рассматриваемой задачи репрезентативного размещения хронобиологических стационаров особый интерес представляют и ретроспективные исследования географиче-

ских закономерностей цикличности изменения прироста древесных растений. В их числе работа С. Г. Шиятова (1986), проанализировавшего закономерности ретроспективной цикличности древесного прироста лиственницы, сосны и ели в масштабах всего Уральского хребта, выполненные Е. А. Вагановым с соавторами (1996) исследования древесно-кольцевых хронологий вдоль северной границы распространения древесной растительности в Урало-Сибирской Субарктике, а также материалы исследований С. П. Арефьева (2010), изучавшего ретроспективные закономерности и географические масштабы изменчивости радиального прироста кедра на территории Западно-Сибирской равнины. Ценность таких исследований в том, что их дальнейшее развитие позволит узнать географические масштабы циклических изменений прироста, обусловленные циклическостью среды обитания лесообразующих пород. И это поможет еще точнее определять географические координаты экологически ординированной сети хронобиологических стационаров.

Основные требования к содержанию работы ключевых хронобиологических стационаров и примеры их размещения на плакорах и в горах опубликованы (Проскуряков, 2012).

Становится ясно, что даже объективно и корректно ординированная *сеть ключевых хронобиологических стационаров будет эффективно работать лишь при условии соблюдения принципа интерполяции их результатов*. Именно это позволит уверенно и в режиме нон-стоп отслеживать движение свойств лесных организмов и экосистем любых территорий Земли. Для иллюстрации эффективности применения интерполяции результатов стационарных хронобиологических наблюдений в условиях плакоров можно воспользоваться картограммами рис. 3, заимствованными из опубликованного Росгидрометом 2-го тома «Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» (2008, с. 103–105).

Исходным материалом для построения картограмм рис. 3 послужила интерполяция данных 30-летних наблюдений относительно небольшого (менее 50) количества пунктов хронобиологических наблюдений. Однако, как можно в том убедиться, по ним удалось выяснить картину климатогенного смещения

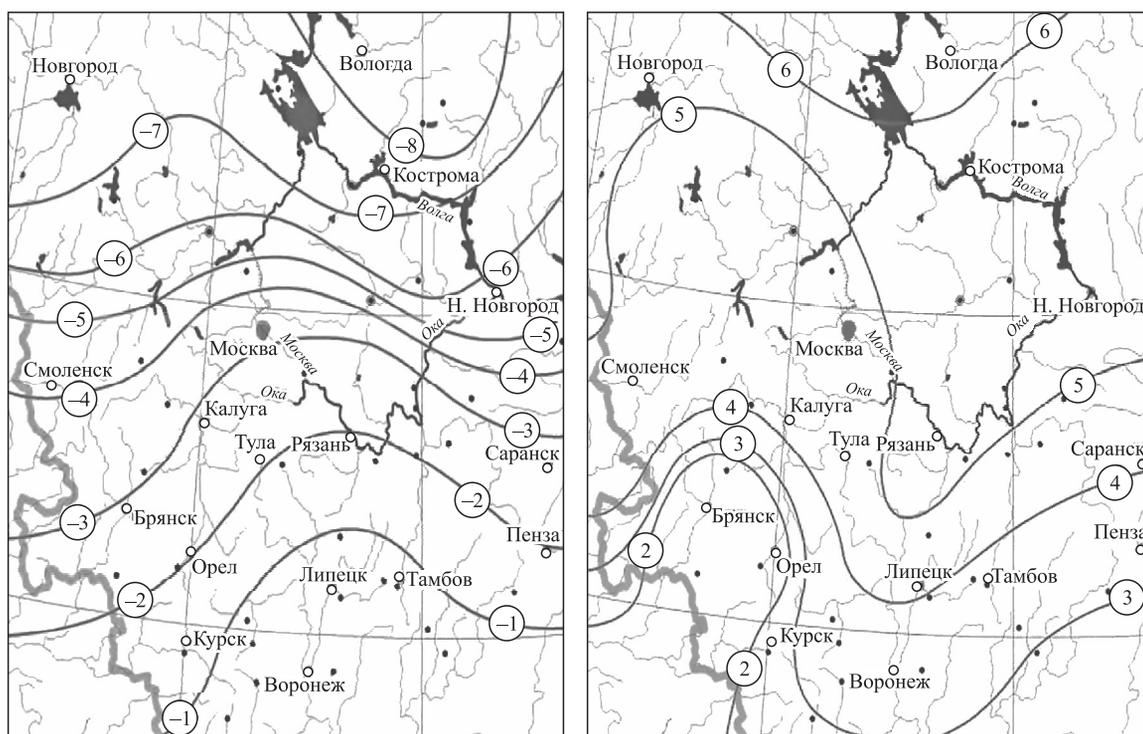


Рис. 3. Изофены смещения (в сутках) сроков развертывания первых листьев у березы повислой (слева) и окончания листопада (справа) на европейской территории России за период 1970–2000 гг. (Минин, 2000а, б; Воскова, 2006; Оценочный доклад..., 2008). Точками показаны пункты фенологических наблюдений. Пояснения в тексте.

изофен березы повислой *Betula pendula* Roth для очень крупного региона Восточно-Европейской равнины России, простирающегося на территории более 1 млн км².

Не вызывает сомнений, что изображенная на рис. 3 картина смещения изофен березы носит закономерный, а не хаотичный характер. На ней четко разграничены области наиболее мощных, средних и относительно слабых смещений даты наступления фенофаз, а также их географическая дифференциация. Результатом такого динамического процесса стала четко выраженная пространственно-временная локализация мест со сходными фенологическими свойствами лесных экосистем, формируемых березой повислой.

Важно отметить, что материалы рис. 3 отражают картину лишь итогового смещения фенофаз березы к концу 30-летнего периода наблюдений. Ими показан только конечный результат влияния циклического колебания климата и общего тренда его глобального потепления. Однако, как уже было доказано, из-за циклических колебаний климата свойства растений непрерывно меняются, даже если они находятся на постоянном месте. Поэтому в

охваченном исследованиями 30-летнем периоде изофены каждой конкретной фенофазы березы непрерывно и циклично изменяли конфигурацию локализации мест со сходными фенологическими свойствами. И происходило это как в широтном, так и в меридианном направлениях.

Материалы рис. 3 наглядно свидетельствуют и о том, что каждая фенофаза березы имела индивидуальную, неповторимую динамику картины движения пространственно-временной локализации своих состояний. А это позволяет сделать еще один очень важный вывод: в пределах каждой лесной территории, притом в одни и те же годы, любое свойство лесных организмов и экосистем имеет неповторимые закономерности циклического движения и пространственно-временной локализации. И выяснить такие закономерности можно только путем поэтапной интерполяции результатов хронобиологических наблюдений сети экологически ординированных стационаров.

Общеизвестно, что фенологические изменения у растений обусловлены физиологическими, биохимическими и ферментативными



Рис. 4. Схема последовательности работы по оптимизации использования лесных экосистем с учетом пространственно-временного движения их свойств.

процессами, ритмом и скоростью происходящих ростовых процессов. Они отражают глубокие внутренние изменения в жизни растений, а также то, насколько условия среды соответствуют требовательности и биологическому ритму развития растений, их адаптационной стратегии. Но эти же процессы лежат в основе изменения и всех других свойств растений. На данном основании здесь можно констатировать и методологическую общность алгоритмов, которые должны применяться для решения задач интерполяции и последующего картографического изображения картины движения любых свойств лесных организмов и экосистем, происходящих в режиме времени изменения климата Земли. А рис. 3 целесообразно рассматривать как частный пример результатов этапа рабочего применения такого алгоритма в условиях плакоров.

Как в горных, так и в равнинных регионах применение интерполяции результатов стационарных хронобиологических наблюдений позволит на статистически значимом уровне непрерывно отслеживать процесс пространственно-временной локализации и циклического движения важнейших свойств лесных организмов и экосистем. Это создаст необходимую основу для оперативного решения важнейших задач рационального лесопользования в пределах весьма крупных лесных регионов без дорогостоящих метеорологиче-

ских наблюдений; поможет ориентироваться в направлении, величине, скорости смещения и степени уязвимости свойств лесных организмов и экосистем; даст возможность непрерывно контролировать картину движения локализуемых границ оптимумов свойств лесных организмов и экосистем каждого изучаемого региона; обеспечит готовность к негативным последствиям происходящей трансформации лесов и своевременному принятию действенных мер по предотвращению их разрушения. В итоге удастся достичь наиболее продуктивного, малорискованного, экономичного и природосберегающего режима ведения лесного хозяйства.

Для уверенного решения задач рационального лесопользования крайне необходимо соблюдать *принцип обязательного планирования научных исследований и лесоводственных мероприятий с учетом закономерностей пространственно-временного движения свойств лесных организмов и экосистем*. Эта работа должна быть организована в соответствии со схемой рис. 4.

На первом этапе такой работы выполняются проектирование и создание сети экологически ординированных хронобиологических стационаров. Организуются регулярные хронобиологические наблюдения и формируется база их данных для анализа движения свойств лесных экосистем.

На втором этапе по материалам продолжающихся регулярных наблюдений формируются временные ряды, выполняются их анализ и интерполяция результатов на промежуточные ситуации внутри созданной сети хронобиологических стационаров.

На третьем этапе анализируются закономерности локализации и пространственно-временного движения свойств лесных растений и их экосистем. Отслеживается движение координат местности, где свойства лесных организмов и экосистем локализуются по сходным характеристикам степени уязвимости, величины смещения, направления и скорости движения. Для определения мест таких локализаций на плакорах используются географические, а в горах – градиентные координаты. Работа ведется непрерывно, в режиме он-лайн.

На четвертом этапе результаты хронобиологического мониторинга и анализа применяются в решении задач науки и практики лесоводства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изложенное концептуальное решение проблемы оптимизации лесопользования сводится не к преодолению сил природы и не к стремлению исправить или любой ценой ослабить неблагоприятное влияние климата, наоборот, именно силы природы будут использоваться как главный фактор, создающий благоприятные условия для выращивания лесной продукции, в которой человек нуждается. Необходимый эффект будет достигаться без существенного вреда для жизни леса.

Основой такого решения задач лесопользования станет непрерывный анализ цикличного движения свойств лесных организмов и экосистем в режиме времени колебаний климата каждого лесного региона. Он позволит своевременно отслеживать смещения координат оптимумов их продуктивности и даст возможность решать вопросы вовлечения в хозяйственный оборот именно тех древесных пород и сопутствующих им организмов, в тех местах их обитания и в такие сроки изменения климата, когда природа сама обеспечивает наибольшую ресурсную продуктивность и естественное возобновление лесов. Данное решение проблемы поможет выполнять лесоводствен-

ные мероприятия с наименьшими затратами и рисками, но с максимальной эффективностью. Удастся вести лесопользование, избегая мест климатических невзгод, лавируя между ними в пространстве и времени флюктуации климата, и при этом постоянно получать максимальную биологическую продуктивность лесных экосистем.

Применение рассмотренного здесь концептуального решения проблемы лесопользования в режиме цикличного движения свойств лесных организмов и экосистем позволит развить ряд новых актуальных направлений теоретических и прикладных исследований, в том числе и для реализации формируемой Российской академией наук долговременной программы развития лесной науки России «Экологические и социально-экономические риски деградации лесов и пути их предотвращения» (Лукина, Исаев, 2014). Важнейшие из этих направлений следующие:

- мониторинг цикличного движения координат пространственно-временных локализаций характеристик разнообразия видового и формового состава, вертикальной, горизонтальной структуры, биологической устойчивости и процессов естественного самовосстановления лесных организмов и экосистем;
- мониторинг движения координат пространственно-временных локализаций фенологических, морфологических, анатомических, физиологических и биохимических характеристик лесных растений при циклическом изменении среды их обитания;
- мониторинг циклического движения координат пространственно-временных локализаций характеристик конкурентных внутри- и межвидовых взаимодействий, консортивных связей, биотических процессов и изменений структуры генофонда лесных растений;
- мониторинг циклической динамики биоценотической среды и движения емкости экологических ниш, пригодных для заселения лесобразующими растениями;
- мониторинг циклического движения координат пространственно-временных локализаций территорий, отличающихся характеристиками почвозащитной, противоселевой, противолавинной, водорегулирующей, водоохранной, бальнеологической и рекреационной роли лесного покрова;

- мониторинг циклического движения координат местообитаний, отличающихся пространственно-временной локализацией разных уровней ресурсной ценности лесных организмов, смещения их экологического и фитоценотического оптимумов, жизнеспособности и продуктивности, а также режима накопления биологически активных соединений. Решение на этой основе задач поиска в природе, заготовки и выращивания в культуре лесных растений с заранее заданными полезными качествами;

- мониторинг циклического движения координат местообитаний с кризисной трансформацией ресурсной ценности лесных растений и экосистем. Диагностика процессов кризисных явлений в лесных экосистемах. Анализ пространственно-временного циклического движения координат местообитаний с локализуемым кризисным развитием конкурентных и консортивных связей в лесных биоценозах, кризисными изменениями степени уязвимости лесных организмов и экосистем, а также жизнеспособности лесных растений и процесса естественного их восстановления;

- разработка щадящего режима лесопользования и заповедания природных объектов, мероприятий по поддержанию биологического разнообразия и сохранению генофонда лесных растений, стабильности структуры и продуктивности их природных популяций с учетом циклического движения координат местообитаний, характеризующихся пространственно-временной локализацией свойств лесных растений и экосистем;

- хронобиологический анализ циклического движения результатов интродукции лесных растений в новых регионах. Анализ степени уязвимости и реакции их свойств, а также ресурсной перспективности интродуцируемых растений;

- создание технологий лесопользования, позволяющих ослабить нежелательные циклические изменения почвозащитной, противоселевой, противолавинной, водорегулирующей, водоохранной, бальнеологической и рекреационной роли лесных экосистем;

- разработка методов оценки экономической эффективности и получаемой прибыли при ведении бизнеса на основе рационального лесопользования с учетом циклического движения координат местообитаний, отличающих-

ся пространственно-временной локализацией свойств лесных экосистем.

Развитие этих направлений долговременных непрерывных стационарных исследований поможет глубже познать важнейшие аспекты динамики лесных экосистем, позволит существенно ослабить неблагоприятные последствия циклических изменений лесных экосистем в режиме глобальных трансформаций климата, сократит неэффективные затраты труда и времени на восстановление и сбережение биоразнообразия и продуктивности лесов как важнейшего самовозобновляющегося ресурса Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алисов Б. П., Полтараус Б. В.* Климатология. М.: Изд-во МГУ, 1974. 299 с.
- Арефьев С. П.* Дендрохронологический анализ факторных полей состояния кедра (*Pinus sibirica* Du Tour) в Западной Сибири // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Электронное периодическое издание. 2010. № 10. http://www.24kedr.ru/publications/science/1302/?PAGEN_1=2
- Атлас лесов СССР. М., 1973. С. 17–20.
- Битвинская Т. Т.* Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 172 с.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазена В. С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1996. 246 с.
- Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
- Воскова А. В.* Современные фенологические тенденции в природе центральной части Русской равнины: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2006. 26 с.
- Гаазе-Рапопорт М. Г.* Кибернетика и теория систем. Системные исследования. Ежегодник. М.: Наука, 1973. С. 38–51.
- Горохов В. Г.* Множественность представлений системы и постановка проблемы системного эталона // Системные исследования. Ежегодник. М.: Наука, 1972. С. 72–78.
- Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973. 336 с.
- Едронова В. Н., Малафеева М. В.* Общая теория статистики. М.: Магистр, 2007. 606 с.
- Лакин Г. Ф.* Биометрия. М.: Высш. школа, 1990. 351 с.

- Лукина Н. В., Исаев А. С. О концепции программы «Экологические и социально-экономические риски деградации лесов и пути их предотвращения» // Научные основы устойчивого управления лесами: материалы Всерос. науч. конф., Москва, 21–23 окт. 2014 г. М.: ЦЭПЛ РАН, 2014. С. 15–16.
- Медведев Е. М., Данилин И. М., Мельников С. Р. Лазерная локация земли и леса: учебн. пособ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. 229 с.
- Минин А. А. Фенология Русской равнины: материалы и обобщения. М.: Изд-во АВФ/АБФ, 2000а. 160 с.
- Минин А. А. Фенологические особенности состояния экосистем Русской равнины за последние десятилетия // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000б. № 3. С. 75–80.
- Никаноров С. П. Системный анализ и системный подход // Системные исследования. Ежегодник. М.: Наука, 1972. С. 55–71.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. II. Последствия изменения климата. М.: Росгидромет, 2008. 288 с.
- Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. С. 31–32.
- Плохинский Н. А. Биометрия. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1961. 364 с.
- Проскуряков М. А. Методика анализа размещения елового древостоя по элементам микрорельефа в горах Тянь-Шаня // Экология. 1973. № 2. С. 90–91.
- Проскуряков М. А. Принципы эмпирического моделирования возможностей территориального распределения ели в лесах Тянь-Шаня // Экология. 1974. № 3. С. 20–28.
- Проскуряков М. А. Встречаемость арчи полусферической в зависимости от распределения солнечной радиации в лесу // Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. по вопр. изучения и освоения флоры и растительности высокогорий. Новосибирск, 1977. С. 179–180.
- Проскуряков М. А. Методика построения эмпирической модели размещения деревьев в горных лесах // Изв. АН Казахской ССР. Сер. биол. 1978. № 1. С. 17–24.
- Проскуряков М. А. Горизонтальная структура горных темнохвойных лесов. Алма-Ата: Наука Каз. ССР, 1983. 215 с.
- Проскуряков М. А. Хронобиология растений при изменении климата // Проблемы обеспечения биологической безопасности Казахстана. Сб. мат-лов науч. конф. Алматы, 2008. С. 77–80.
- Проскуряков М. А. Методика хронобиологического анализа растений // Изв. НАН РК. Сер. биол. и мед. 2009. № 4 (274). С. 53–57.
- Проскуряков М. А. Хронобиологический анализ растений при изменении климата // Тр. Ин-та ботан. и фитоинтродукции. Алматы, 2012. Т. 18 (1). 228 с. <http://www.botsad.kz>
- Проскуряков М. А. Хронобиологический анализ скорости и величины смещения характеристик растений при изменении климата // Изучение ботанического разнообразия Казахстана на современном этапе: тр. Междунар. конф. 6–7 июня 2013 г. Алматы: Изд-во LEM, 2013. С. 132–135. <http://www.botsad.kz>
- Проскуряков М. А. Проблема хронобиологической цикличности движения свойств лесных экосистем. Сообщение 1 // Сиб. лесн. журн. 2015. № 2. С. 71–84.
- Проскуряков М. А., Пусурманов Е. Т., Кокорева И. И. Изменчивость древесных растений в горах (методические вопросы исследования). Алма-Ата: Наука Каз. ССР, 1986. 130 с.
- Проскуряков М. А., Зайченко О. П., Бабай И. В., Масалова В. А., Набиева С. В., Ишаева А. Н., Исмаилова Н. А., Хусаинова. И. В. Географическая и хронобиологическая изменчивость сроков развития растений // Сохранение и рациональное использование генофонда диких плодовых лесов Казахстана: тр. Междунар. конф. 12–16 авг. 2013 г. Алматы, 2013. С. 143–148. <http://www.botsad.kz>
- Работнов Т. А. Фитоценология. 2-е изд. М.: Изд-во Московск. ун-та, 1983. 292 с.
- Раменский Л. Г. О сравнительном методе экологического изучения растительных сообществ. Дневник XII съезда русских естествоиспытателей и врачей. Отд. II. Вып. 9. М., 1910. С. 389–390.
- Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М., 1938. 620 с.

- Садовский В. Н.* Некоторые принципиальные проблемы построения общей теории систем // Системные исследования. Ежегодник. 1971. М.: Наука, 1972. С. 35–54.
- Соболь Б. В., Борисова Л. В., Иваночкина Т. А., Пешихов И. М.* Практикум по статистике в Excel. Ростов н/Д: Феникс, 2010. 382 с.
- Уиттекер Р.* Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 328 с.
- Усольцев В. А.* Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 762 с.
- Усольцев В. А.* Моделирование территориального распределения первичной продукции лесов: по географическим координатам или климатическим факторам? // Эко-потенциал. 2014. № 1 (5). С. 128–138.
- Шиятов С. Г.* Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 137 с.
- Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазена В. С., Наурзбаев М. М., Хантемиров Р. М.* Методы дендрохронологии. Ч. 1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Учеб.-метод. пособ. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
- Шмойлова Р. А., Минашкин В. Г., Садровникова Н. А.* Практикум по теории статистики. М.: Финансы и статистика, 2009. 415 с.
- Юдин Б. Г.* Становление и характер системной ориентации // Системные исследования. Ежегодник. М.: Наука, 1972. С. 18–34.
- Юдин Б. Г.* Методологическая природа системного подхода // Системные исследования. Ежегодник. М.: Наука, 1973а. С. 38–51.
- Юдин Б. Г.* Системные исследования в функциональном подходе // Системные исследования. Ежегодник. М.: Наука, 1973б. С. 108–126.
- Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys P., Lambin E.* Digital change detection in ecosystem monitoring: a review // Int. J. Rem. Sens. 2004. V. 25 (9). P. 1565–1596.
- Danilin I. M., Medvedev E. M.* Forest inventory and biomass assessment by the use of airborne laser scanning method (example from Siberia) // Int. Arch. Photogram. Rem. Sens. Spat. Inf. Sci. 2004. XXXVI (8/W2). P. 139–144.
- Moran P. A. P.* The statistical analysis of game bird records // J. Animal Ecol. 1952. V. 21. P. 154–158.
- Pool R. W.* An introduction to quantitative ecology. New York: McGraw Hill, 1978. 230 p.
- Whittaker R. H.* Vegetation of the Great Smoky Mountains. Ecol. Monogr. 26. 1956. P. 1–80.
- StatSoft, Inc. Электронный учебник по статистике. М., 2001. StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>

Problem of Chronobiological Cyclic of Movement of Forest Ecosystems Properties Communication 2

M. A. Proskuryakov

*Institute of Botany and Phytointroduction
Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan
Timiryazev str., 36d, Almaty, 050040 Republic of Kazakhstan
E-mail: proskuryakov_137@mail.ru*

On the basis of generalization of materials of long-term research, it is shown objectively, steadily, continuously and everywhere manifested action of the law of cyclic recurrence of movement of all properties of forest organisms and ecosystems. The Action of this law should be considered, both in research and in use, conserving biodiversity, productivity and resource values of forests. For this purpose, the conceptual solution to a problem of cyclic analysis of spatial-temporal movement of all properties of forest organisms and ecosystems was proposed during climate change thus allowing forest management at lower costs and risks. This solution is based on chronobiological analysis of spatial-temporal movement of forest plants and their ecosystems. The peculiarities of task solution of ecologically ranked distribution of chronobiological permanent study areas were reviewed in this relation. The interpolation algorithms of their observation results were proposed in order to analyze localization coordinates and spatial-temporal movement of properties of forest organisms and their ecosystems. The possibilities of use of chronobiological analysis for assessment of cyclic changes of sensitivity, direction, velocity and value of transposition of forest organisms and ecosystems' properties were shown. The proposed solution to a problem will increase steadiness and cost effectiveness of forest use during cyclic climate changes and will allow operating forestry at the maximum efficiency and at lower costs and risks under the highest natural productivity of forest ecosystems thus avoiding the areas of climatic adversities. In addition, this solution will help to observe reduced impact forest use and contribute to preservation of forests' biodiversity in space and time of fluctuating climate. Likewise, it will contribute to development of new actual trends of theoretical and applied surveys. Among them are monitoring of coordinates' movement of spatial-temporal localization of properties of forest ecosystems, their productivity and protection role; monitoring of coordinates' movement of habitats with critical transformation of resource value and biological steadiness of forest ecosystems; analysis of cyclic movement of introduction results of forest organisms in new regions; development of reduced impact forest use and creation of new technologies allowing to mitigate adverse cyclic changes of productivity and biological steadiness of forests, their protection, balneological and recreation role. Development of these directions will reduce inefficient labor and time costs for restoration, preservation of biodiversity and forest productivity as the most important everlasting resource of the Earth.

Keywords: *forest ecosystems, chronobiology, cyclic recurrence of movement, plants, climate.*

How to cite: *Proskuryakov M. A. Problem of chronobiological cyclic of movement of forest ecosystems properties. Communication 2 // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2015. N. 6: 70–85 (in Russian with English abstract).*