

ОПИСАНИЕ ФАЙЛА

Проскуряков М.А. Хронобиологический анализ скорости и величины смещения характеристик растений при изменении климата.

Статья. - Сборник «Изучение ботанического разнообразия Казахстана на современном этапе». Доклады Международной научной конференции. – Алматы: ТОО «Издательство LEM» - 2013. – С. 132-135.

В статье предложена методика оценки скорости, направления и величины смещения характеристик растений, как при потеплении, так и похолодании климата. Данная методика применима для любого пункта и растительного объекта Земли. Дает возможность на статистически значимом уровне исследовать процессы трансформации характеристик растений и их биотических связей. Помогает определить реактивность системообразующих компонентов растительных ассоциаций, индикаторных представителей растительных систем и сделать объективные заключения об их устойчивости и уязвимости. Позволяет выявить основные типы адаптационной стратегии растительных систем, отслеживать временной ход процесса их трансформации при изменении климата, и на этой основе лучше подготовиться к последствиям климатогенной трансформации растительного покрова.

Далее следуют материалы опубликованного файла статьи.

ХРОНОБИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СКОРОСТИ И ВЕЛИЧИНЫ СМЕЩЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТЕНИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

М.А. Проскуряков

РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции»

Г.Алматы, Республика Казахстан,

proskuryakov_137@mail.ru

Предложена методика числовой оценки скорости, направления и величины смещения характеристик растений при изменении климата.

Многолетние хронобиологические наблюдения за растениями в режиме меняющегося климата позволяют получать временные ряды данных, которые отражают изменчивость их показателей. Но решение задачи анализа именно климатогенной составляющей этих изменений осложняется высокой вариабельностью характеристик растений, вызванной сильными колебаниями погодных условий, следующих друг за другом лет наблюдений. Такие колебания создают «шум», который затрудняет обнаружение климатогенной компоненты. Поэтому важной задачей анализа полученных временных рядов является фильтрация шума с целью выявить регулярную (систематическую) компоненту в поведении растений, которая детерминирована действием меняющегося климата, как совокупности погод за длительный период времени. В качестве эффективного способа фильтрации шума вызванного погодной изменчивостью растительных систем, можно применить корреляционный и регрессионный анализ.

С этой целью растения и формируемые ими растительные сообщества рассматривались автором как процессуальные системы. Работа каждой такой процессуальной системы отражается последовательностью смены ее состояний в режиме меняющегося климата. Входом в процессуальную систему является период жизни (интервал лет), в течение которого она изучается, а его конкретными состояниями – охваченные исследованиями годы наблюдений. Выходом системы будут исследуемые параметры показателей жизнеспособности и прочие свойства растений, трансформируемые в период меняющегося климата. Исследуя связь между входом (периодом жизни) и выходом (результатами работы) данной процессуальной системы, можно выяснить динамику важнейших характеристик биологических показателей. Теоретическое обоснование, методика и алгоритмы проведения хронобиологического анализа, основывающегося на этом подходе, опубликованы [1,2].

В развитие этого подхода здесь предлагается методика числовой оценки скорости, величины и направления смещения регулярной компоненты характеристик растений при изменении климата. В качестве конкретного примера для иллюстрации методического решения задачи воспользуемся материалами наблюдений за датой начала плодоношения у лещины сорта Грандиозный (*Corylus avellana* 'Grandiozniy'). Исходные данные для расчетов получены от О.П.Зайченко, которая вела наблюдения в Главном ботаническом саду Института ботаники и фитоинтродукции (г.Алматы) в течение 14 лет (с 1999 по 2012гг). И, именно в тот период, когда происходили весьма интенсивные изменения климата [3]. В ее наблюдениях обеспечивалось соблюдение принципа единственного различия – меняющегося климатического режима местности.

Расчет вспомогательных величин для вычисления корреляционного отношения даты созревания плодов *Corylus avellana* 'Grandiozniy' представлен в таблице 1. При этом, перевод дат в последовательные числа для их статобработки выполнялся по таблице Г.Н.Зайцева [4]. Как видно из материалов таблицы 1 (столбцы 1 и 4) и построенного по ним рис. 1А, накопленный в результате наблюдений временной ряд данных, отражает весьма существенную изменчивость сроков созревания плодов лещины.

Климатогенная составляющая этих изменений затушевывается имеющей место вариабельностью сроков созревания плодов, которая вызвана колебаниями погодных условий. Поэтому применение здесь корреляционного и регрессионного анализа с целью фильтрация шума и выявления регулярной (систематической) компоненты вполне оправданно.

Представленные в корреляционной таблице 1 результаты анализа свидетельствуют, что дата начала созревания плодов лещины (Y) весьма существенно коррелирует с изучаемым периодом жизни ее растений (X). Теснота этой связи составляет более 96% от полной неразрывной (корреляционное отношение $\eta_{yx} = 0,962 \pm 0,079$). Нулевая гипотеза об отсутствии связи отвергается, т.к. $t_{\eta_{yx}} = 12,177$ больше $t_{\text{табл.ool}} = 4,318$. А 95%-ый доверительный интервал для корреляционного отношения находится в пределах $0,8 \div 1$. В целом же выполненные расчеты с вероятностью 99,9% свидетельствуют о наличии статистически значимой, близкой к функциональной связи. Это подтверждается и коэффициентом детерминации ($d_{yx} = 0,93$), который указывает, что более 90% доли вариации сроков созревания плодов (Y) происходит согласованно, именно со шкалой времени (X) изменения климата. Полученные результаты характеризуют высокую уязвимость изучаемого фенологического показателя в данный период изменения климата и дают основания для анализа закономерностей регрессии систематической компоненты временного хода даты созревания плодов лещины.

Для решения такой задачи можно воспользоваться как числовыми оценками таблицы 1, так и графическим изображением линии регрессии, которая отразит усредненное течение функции Y(фенодаты) при равномер-

Таблица 1 – Расчет вспомогательных величин для вычисления корреляционного отношения даты созревания плодов *Corylus avellana* ‘Grandioznyi’

Год наблюдений X	Групповое среднее \bar{y}_y	Число наблюдений n_x	Дата созревания плодов Y	Перевод дат созревания плодов	Групповое среднее \bar{y}_x	Отклонение даты от группового средн. $Y - \bar{y}_x$	Квадрат отклонения $(Y - \bar{y}_x)^2$	Отклонение даты от общей средней $Y - \bar{y}$	Квадрат отклонения $(Y - \bar{y})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1999	1999,5	2	6 сент.	190	193 (9 сент.)	-3	9	4,36	19,01
2000			12 сент.	196		3	9	10,36	107,33
2001			10 сент.	194		-0,33	0,11	8,36	69,89
2002	2002	3	10 сент.	194	194,3 (10 сент.)	-0,33	0,11	8,36	69,89
2003			11 сент.	195		0,67	0,45	9,36	86,61
2004			2 сент.	186		2,67	7,13	0,36	0,13
2005	2005	3	28 авг.	181	183,3 (30 авг.)	-2,33	5,43	-4,64	21,53
2006			30 авг.	183		0,33	0,11	-2,64	6,97
2007			27 авг.	180		-1,33	1,77	-5,64	31,81
2008	2008	3	30 авг.	183	181,3 (28 авг.)	1,67	2,79	-2,64	6,97
2009			28 авг.	181		-0,33	0,11	-4,64	21,53
2010			28 авг.	181		2,33	5,43	-4,64	21,53
2011	2011	3	25 авг.	178	178,7 (26 авг.)	-0,67	0,45	7,64	58,37
2012			24 авг.	177		-1,67	2,79	8,64	74,65

$$\Sigma(Y - \bar{y}_x)^2 = 44,68; \quad \Sigma(Y - \bar{y})^2 = 597,22;$$

$$\eta_{yx}^2 = \frac{\Sigma(Y - \bar{y})^2 - \Sigma(Y - \bar{y}_x)^2}{\Sigma(Y - \bar{y})^2} = 0,925; \quad \eta_{yx} = \sqrt{\eta_{yx}^2} = 0,962; \quad s_\eta = \sqrt{\frac{1 - \eta_{yx}^2}{n - 2}} = 0,079; \quad t_{\text{факт}} = \frac{\eta_{yx}}{s_\eta} = 12,177; \quad d_{yx} = \eta_{yx}^2 = 0,93; \quad \text{при } v = n - 2 = 14 - 2 = 12;$$

$t_{05 \text{ табл}} = 2,179; t_{001 \text{ табл}} = 4,318; H_0$ не отвергается ($t_{\text{факт}} < t_{001 \text{ табл}}$); Гдс: η_{yx} – корреляционное отношение Y (даты созревания плодов) по X (годы наблюдений); d_{yx} – коэффициент детерминации; s_η – ошибка корреляционного отношения $t_{\text{факт}}$ – фактическое значение критерия t – Стьюдента; v – число степеней свободы; Σ – сумма, знак суммирования.

ном увеличении аргумента X (лет наблюдений). Без дополнительных вычислений линию регрессии с достаточным приближением можно построить графическим способом. С данной целью нужно воспользоваться материалами таблицы 1, в которой рассчитывались вспомогательные величины для вычисления корреляционного отношения. Значения групповых средних (\bar{x}_y и \bar{y}_x), записанные в столбцах 2 и 6 таблицы 1, соответствуют координатам линии регрессии. Поэтому нанеся на график соответствующие им точки (отмечены на рис. 1В маркерами с указаниями года), и соединив их, мы получим линию регрессии. Построенная указанным способом линия регрессии (рис. 1В) с достаточным приближением отражает поведение регулярной (систематической) компоненты для принятого в корреляционной таблице порядка группировки данных (по три года). А применение именно такой группировки представляется наиболее оправданным еще и потому, что она лучше сопряжена с установленным климатологами разнообразием циклических колебаний термического режима постоянно флюктуирующего климата.

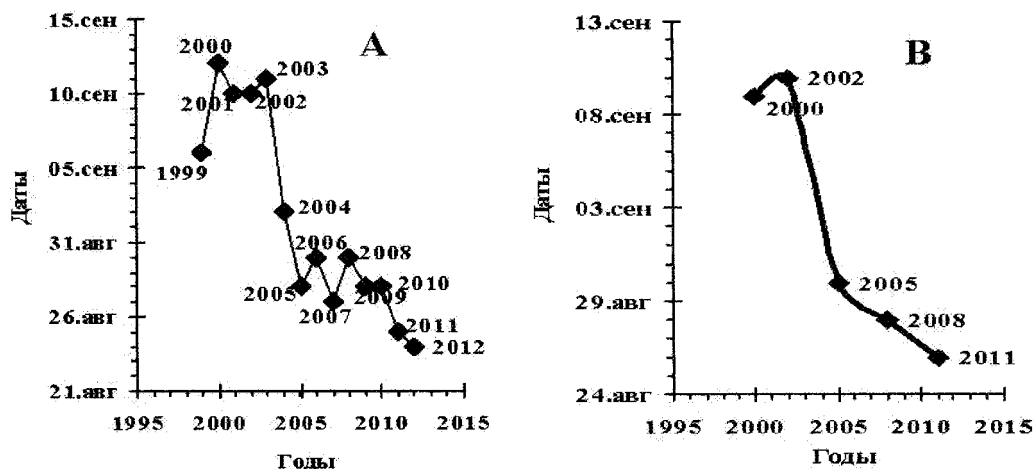


Рисунок 1 – Временной ряд (А) и линия регрессии (В) даты созревания плодов *C. avellana* 'Grandioznyi'

Линия регрессии рис.1 показывает, что за наблюдаемый период имели место существенные смещения даты созревания плодов лещины. Притом, процесс этот шел очень неравномерно. И для того, чтобы получить числовые оценки скорости и величины смещения даты созревания плодов лещины, нужно воспользоваться материалами рассмотренной выше корреляционной таблицы, в которой рассчитывались координаты линии регрессии. Для удобства дальнейших расчетов эти данные помещены в таблице 2 (см. 1-3 столбцы).

Длительность каждого из указанного на рис. 1В и в первом столбце таблицы 2 периода линии регрессии записана в ее столбце 2. Направление и величину смещения фенофазы легко рассчитать как разность дат начала и конца периода (по данным столбца 3). Результаты этого расчета записаны в столбце 4. Затем, путем деления величины смещения фенофаз по периодам на длительность этих периодов, можно определить скорость смещения регулярной систематической компоненты (линии регрессии), которая характеризует процесс созревания плодов лещины. Для нашего примера полученные оценки скорости по каждому периоду линии регрессии записаны в 5-ом столбце таблицы 2.

Таблица 2 – Динамика смещения линии регрессии созревания плодов *Corylus avellana* 'Grandioznyi'

Периоды линии регрессии, годы	Длительность анализируемого периода, лет	Даты наступления фенофазы в начале и конце анализируемого периода	Направление и величина смещения фенофазы по периодам, в днях	Скорость смещения, дней в год
1	2	3	4	5
2000 – 2002	2	9сент – 10сент	1	0,5
2002 – 2005	3	10сент – 30авг	-11	3,7
2005 – 2008	3	30авг – 28авг	-2	0,7
2008 – 2011	3	28авг – 26авг	-2	0,7

Линия регрессии на рис.1В и материалы таблицы 2 свидетельствуют о том, что с 2000 по 2002 год дата начала созревания плодов лещины стала на 1 день позже. Но затем все последующие периоды она смещалась уже только в раннюю сторону. С 2002 по 2005гг – на 11 дней со скоростью 3,7 дня в год, а с 2005 по 2011гг срок

созревания сместился еще на четыре дня со скоростью 0,7 дней в год. В итоге за период с 2002 по 2011 гг дата созревания плодов лещины стала на 15 дней раньше. Очевидно, что выявленная тенденция в смещении даты созревания плодов будет продолжена, если сохранится режим изменения климата.

Полученные числовые оценки скорости, величины и направления смещения характеристик растений отражают влияние всей совокупности факторов действующих в период меняющегося климата. Тем самым исследователь получает интегральный инструмент для изучения поведения любых показателей растений при трансформации климата. И в данной связи здесь уместно отметить следующие необходимые условия объективного решения рассмотренных выше задач хронобиологического анализа.

1. Соблюдать принцип единственного различия обитания растений при сборе материалов в изучаемый период их жизни, а именно – меняющегося климатического режима.

2. Использовать для анализа только полные (без пропусков лет) временные ряды данных погодичных наблюдений за поведением растений.

3. Применять статистические методы обработки наблюдений, позволяющие учитывать закономерное преобладание нелинейности климатогенных изменений свойств растений.

4. Согласовывать частоту наблюдений за растениями со скоростью изменения анализируемых их свойств.

Как уже было показано ранее [2], глобальные изменения климата могут привести к обеднению видового состава растительных сообществ, изменению их продуктивности, валового запаса биомассы, годичного прироста растений, интенсивности плодоношения. Изменению динамики роста и развития растений, их биохимической реакции и биохимических модификаций. Возможны изменения в ферментативных системах и физиологических процессах. Трансформация морфологического строения, габитуса растений, облиственности, размеров листьев, развитости корневых систем. Учащаются случаи проявления вечнозелености растений. Произойдет сдвиг фаз роста и развития, изменится скорость их протекания, выпадут отдельные фазы развития, появятся нарушения феноритмики у растений. Изменится скорость старения и долголетие организмов. Будет безвозвратно утрачен ценнейший генофонд растений. В результате разрушится вся прежняя картина распределения видового состава и продуктивности растительного покрова. Произойдет глубокая разбалансировка растительных систем и «великое переселение» видов, а также коренные изменения общей продуктивности, биологической устойчивости и биоразнообразия растительного покрова Земли.

В этих аспектах, как представляется, предлагаемая методика будет полезным дополнением методологической основы количественного хронобиологического анализа растений. Она применима в динамике развития трансформации растительного покрова за любой период изменения климата. Для любого пункта и растительного объекта территории Земли. И на сколь угодно большом объеме накопленного статистического материала. Это поможет исследовать крупные массивы наблюдений за любые периоды изменения климата. Даст возможность количественно исследовать процесс трансформации характеристик растений и их биотических связей. Поможет определить реактивность системообразующих компонентов растительных ассоциаций, индикаторных представителей растительной системы и сделать объективные заключения об их устойчивости. Позволит получать числовые оценки степени уязвимости, скорости, направления и величины смещения регулярной систематической составляющей широкого круга жизненно важных показателей растений и формируемых ими систем в период изменения климата. Представится возможным количественно оценивать биологическую устойчивость и ресурсную перспективность растений, формируемых ими природных растительных систем и агрофитоценозов в любом конкретном периоде их жизни, как при потеплении, так и похолодании. Можно будет выявлять основные типы адаптационной стратегии растительных систем дифференцирующихся в режиме времени изменения климатических условий, и отслеживать временной ход процесса их трансформации.

Вся полученная с помощью таких исследований информация необходима для понимания происходящих климатогенных изменений растительного покрова. Позволит лучше подготовиться к возможным последствиям трансформации растительного покрова и принятию действенных мер по предотвращению его разрушения.

Литература

1. Проскуряков М.А. Методика хронобиологического анализа медоносной базы. /Пчеловодство, №3, Москва. 2009. С.20-22. http://www/beekeeping.org.ru/Articles/n309_20/htm.

2. Проскуряков М.А. Хронобиологический анализ растений при изменении климата. Тр. Института ботаники и фитоинтродукции. Т.18(1). Алматы. 2012. – С. 228. <http://www.moip.msu.ru> , www.facebook.com/groups/302333236452194/?bookmark_t=group

3. Второе Национальное сообщение Республики Казахстан Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Астана, 2009. С. 190.

4. Зайцев Г.Н. Фенология древесных растений. Изд.Наука. М., 1981. С. 120.

The resume. The technique of an establishment of speed and size of displacement of characteristics of plants is considered at climate change.