

Статья. — В сб. «Экология и география растений и растительных сообществ». Материалы IV Международной научной конференции. — Екатеринбург: Издательство Гуманитарного университета. — 2018. — С. 476-478.

**В статье впервые выполнен хронобиологический анализ временной динамики изменчивости и степени уязвимости сроков цветения древесных растений в трансформирующихся климатических условиях субтропиков Крыма за период 1937-2017гг. Для этого использовался метод Проскурякова М.А. , согласно которого фазы развития растений рассматривались как хронобиологическая процессуальная система, имеющая определенную последовательность состояний во времени изменения климата. Для выявления климатогенной компоненты, степени уязвимости сроков цветения и фильтрации шума, обусловленного колебаниями погодных условий, рассчитывались корреляционное отношение ( $\eta_{yx}$ ) и коэффициент детерминации ( $d_{yx}$ ). Применение метода М.А.Проскурякова позволило дифференцировать основные типы адаптационной стратегии и уязвимости растений Крыма на статистически значимом уровне. Установлено, что выявленные особенности фенологических реакций растений на изменения субтропического климата дают основу для прогнозных оценок их поведения при дальнейшем потеплении.**

## Особенности фенологических реакций древесных растений Южного берега Крыма на изменения климата

В современной экологии и биологии широко распространены исследования, связанные с глобальными климатическими изменениями и их влиянием на растительный покров. Фенологическое развитие является важным интегральным показателем биологических особенностей растений, закрепленных в генотипе, отражает их экологическую реакцию на сезонные, суточные изменения тех факторов, которые прямо или косвенно воздействуют на их биологический ритм [1]. На режим изменения климата, даже при совместном произрастании на одной территории в одни и те же годы, разные виды растений реагируют по-разному [6; 8]. Основной причиной наблюдаемой разнонаправленности сдвига фенодат является нелинейность отклика растений на изменение климата. Выявить климатогенную составляющую скорости и величины сдвига фенодат, оценить степень уязвимости растений в условиях меняющегося климата возможно методом хронобиологического анализа, основу которого составляют временные ряды данных стационарных наблюдений [7].

Цель исследования – получение сведений о степени уязвимости и временной динамике изменчивости сроков цветения древесных растений в условиях субтропиков Крыма.

В качестве исходных данных использовали материалы многолетних непрерывных фенологических наблюдений на агрометеорологической станции «Никитский сад», расположенной в центральной части Южного берега Крыма (ЮБК). За период 1937–2017 гг. анализировались ряды дат зацветания пяти видов древесных растений, распространенных в лесах или в парках ЮБК: лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L., 1941–2017 гг.); тополя серебристого (*Populus alba* L., 1948–2017 гг.); сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L., 1937–2017 гг.); черемухи обыкновенной (*Padus avium* Mill., 1937–2013 гг.) и липы сердцевидной (*Filia cordata* Mill., 1937–2017 гг.). Данное сезонное событие хорошо проявляется в природе и достаточно надежно фиксируется. Фенонаблюдения проводились по единой методике [4] на постоянном объекте, а накопленной базой данных обеспечивалось соблюдение принципа единственного различия – меняющегося климатического режима местности. Хронобиологический анализ выполнялся по методике М. А. Проскурякова [7]: для количественного исследования фазы развития растений рассматривались как хронобиологическая процессуальная система, которая при изменении климата имеет определенную последовательность состояний во времени. При выявлении климатогенной компоненты для фильтрации шума, обусловленного колебаниями погодных условий и других факторов в период следующих друг за другом лет наблюдений, применяли корреляционный и регрессионный анализ. Учитывая нелинейный характер реакции растений на изменение климата, для оценки тесноты (силы) связи применяли не коэффициент корреляции ( $r$ ), а корреляционное отношение ( $\eta_{yx}$ ) и коэффициент детерминации ( $d_{yx}$ ). При  $\eta_{yx} = 0,5 \div 0,6$  связь считали средней;  $\eta_{yx} < 0,5$  – слабой, при  $\eta_{yx} \geq 0,7$  – сильной [Там же].

\* С. П. Корсакова, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН (Ялта).

\*\* П. Б. Корсаков, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Агрометеорологическая станция Никитский сад (Ялта).

E-mail: korsakova2002@mail.ru

Исследования многолетних изменений термического режима по данным регулярных инструментальных наблюдений прибрежных гидрометеостанций Крыма показали, что на фоне линейных трендов на ЮБК наблюдаются колебания с периодом 70–80 лет и общим повышением температуры в середине XX, конце XX – начале XXI веков [2]. Анализ межгодовых колебаний температуры воздуха и абсолютного максимума позволяет выделить в вековом ходе относительно устойчивый период потепления с 1957 по 1984 гг. Цикл периода потепления 28 лет: постепенный рост температуры с 1957 по 1971 гг. и спад с 1972 по 1984 гг. После теплого периода на ЮБК с 1985 по 1997 гг. наблюдались относительно прохладные годы. Цикл этого периода – 14 лет [5]. С 1998 года на побережье опять начался более теплый период, 1998–2017 гг. по температурному режиму значительно превышали норму. Темпы потепления в последние годы возрастают. Учитывая результаты климатологических исследований за период продолжительностью 100–130 лет, для лучшего сопряжения с установленным разнообразием циклических колебаний приземной температуры воздуха, при расчетах статистических оценок корреляционных отношений группировка данных выполнялась по семи годам.

Результаты анализа фаз цветения растений показали, что даты их наступления довольно тесно коррелируют с изученным периодом изменения климата, однако степень уязвимости и адаптационные стратегии в трансформирующихся климатических условиях различны. Процесс смещения дат цветения у всех видов шел неравномерно, это могло быть следствием неравномерности процесса изменения климата. Так, за изученный период наблюдений (1941–2017 гг.), итоговый общий сдвиг даты фенофазы у цветущей в зимний период лещины обыкновенной произошел на более поздние сроки (на 25 дней). Для данного вида отмечается существенное изменение направленности и интенсивности тенденции в фенологических реакциях. Оценка тренда за последние 20 лет показала наличие положительной динамики со средней скоростью смещения 1,7 дней в год. Возможно, для *S. avellana* лимит сокращения периода органического покоя исчерпан, зимние глубокие и продолжительные оттепели, характерные для современного потепления климата ЮБК, не могут вывести из него растение (что может служить и защитной реакцией на возврат холодов), чем и обусловлена реакция на потепление климата [3]. Зацветание черемухи обыкновенной, являющееся в более высоких широтах признаком разгара весны, стало происходить позже. Слабо выраженная отрицательная тенденция (или отсутствие тренда) наблюдается у сирени обыкновенной. Зацветание липы, символизирующей наступление середины фенологического лета, имело положительный тренд в 1937–1967 гг. (18 дней за 31 год) и отрицательный – после 1968 года (13 дней за 50 лет), из них смещение на 5–6 дней раньше произошло за последние 20 лет. Отличается от представленных в публикации видов разными многолетними тенденциями проявления данной фенологической фазы тополь серебристый. За 1948–2017 гг. резко выделяются два периода: с положительным (1959–1980 гг.) и отрицательным (1981–2017 гг.) трендами. Средняя скорость смещения даты цветения составляла в первом периоде 3,2 дня в год (70 дней за 22 года), во втором периоде – 1,54 дня в год (57 дней за 37 лет). Такое смещение сроков цветения свидетельствуют о действии исключительно мощных детерминирующих факторах, которые трудно объяснить только климатическими изменениями. Возможно, у этой древесной породы время зацветания зависит не только от изменяющихся погодно-климатических условий произрастания, но и от возраста деревьев.

Из всех изученных видов, числовая характеристика степени уязвимости фазы цветения оказалась наибольшей у тополя серебристого. Об этом свидетельствует и корреляционное отношение между датой цветения и изученным периодом из-

менения климата, которое оказалось равным  $0,88 \pm 0,12$  (при коэффициенте детерминации  $d_{yx} = 0,77$ ). У лещины обыкновенной, черемухи обыкновенной и липы сердцевидной уязвимость была также статистически достоверной, но средней степени: величины корреляционного отношения варьировали в диапазоне от  $0,48 \pm 0,20$  до  $0,62 \pm 0,18$ . Если судить по коэффициенту детерминации, то только 23–38 % доли вариации сроков цветения связано с режимом времени изменения климата. Для сирени обыкновенной данная связь оказалась слабой (корреляционное отношение  $\eta_{yx} = 0,34 \pm 0,21$ ). Следовательно, в анализируемый период времени сроки цветения сирени обыкновенной слабо реагировали на происходящие изменения условий обитания, уязвимость оказалась несущественной ( $d_{yx} = 0,12$ ). Для всех этих видов растений нулевая гипотеза об отсутствии связи ( $H_0$ ) отвергается на высоком уровне значимости, так как во всех случаях  $t_{\text{факт}} > t_{01\text{табл}}$ .

Выявленные особенности фенологических реакций растений на изменения климата дают основания для прогнозных оценок их поведения при дальнейшем потеплении климата.

Исследование временных рядов на основе числовых характеристик корреляционного и регрессионного анализа уязвимости позволяет дифференцировать основные типы адаптационной стратегии растений, выяснять принадлежность видов к определенному типу стратегии адаптации в трансформирующихся климатических условиях.

### Литература

1. Булыгин Н. Е. Фенологические особенности некоторых видов *Larix Mill.* в Санкт-Петербурге // Растительные ресурсы. – 2000. – Вып. 3. – С 39–47.
2. Ильин Ю. П., Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н., Горячкин Ю. Н., Дьяков Н. Н., Кубряков А. А., Станичный С. В. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2 : Черное море. – Севастополь : МЧС и НАН Украины : МО УкрНИГМИ, 2012. – 421 с.
3. Минин А. А., Воскова А. В. Гомеостатические реакции растений на современные изменения климата: пространственно-фенологические аспекты // Онтогенез. – 2014. – Т. 45, № 3. – С. 162–169.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11 : Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Ч. 1 : Основные агрометеорологические наблюдения. – Л. : Гидрометеоздат, 1985. – 316 с.
5. Плугатарь Ю. В., Корсакова С. П., Ильницкий О. А. Экологический мониторинг Южного берега Крыма. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2015. – 164 с.
6. Проскураков М. А. Проблема хронобиологической цикличности движения свойств лесных экосистем // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 2. – С. 71–84.
7. Проскураков М. А. Хронобиологический анализ растений при изменении климата. – Алматы : LEM, 2012. – 228 с.
8. Parmesan C. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming // *Global Change Biology*. – 2007. – Vol. 13. – P. 1860–1872.

**S. P. Korsakova,**  
Nikita Botanical Gardens –  
National Scientific Center RAS (Yalta)

**P. B. Korsakov,**  
Nikita Botanical Gardens –  
National Scientific Center RAS,  
Agrometeorological station «Nikitsky Sad» (Yalta)

**FEATURES OF TREE PHENOLOGY RESPONSES  
UNDER CONDITIONS  
THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA ON CLIMATE CHANGE**

A long-term data of flowering dates in the nutwood (*Corylus avellana* L.), rattlertree (*Populus alba* L.), pipe tree (*Syringa vulgaris* L.), bird cherry (*Padus avium* Mill.), and small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) for the period 1937–2017 in the central part Southern coast of the Crimea were studied in order to assess the trends. Differences in phenological responses trees to homogeneous climate changes were revealed. The possibility of using chronobiological analysis for assessment of cyclic changes of sensitivity, for vulnerability analysis and temporal variability properties of trees were shown. If for mid-spring and summer flowering of pipe tree and small-leaved lime occur 3–6 days earlier over the last 20-year period 1998–2017, for winter flowering of nutwood this phenophase occur later. This fact can be interpreted as a manifestation of the by the need to pass successfully the periods of organic rest and vegetation.