



DOI 10.21178/2079-6080.2021.3.48
УДК 630*181.8

Прогнозирование фазы листораспускания фенологических форм дуба черешчатого

© Е.Е. Кулаков, Л.В. Ширнина, А.Л. Мусиевский, С.А. Крюкова

The prognosis of leaf-flushing phase for two phenological forms of English oak

E.E. Kulakov, L.V. Shirnina, A.L. Musievsky, S.A. Kryukova (Federal State Budgetary Institution «All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology», Voronezh, Russia)

In this study, we used a database where phenological observations had been reported for a 25-year period. The database included data on leaf-flushing phase for early and late phenological forms of English oak in Voronezh oblast. We noted significant variations in the dates of leaf flushing over the years, which can vary up to 21 days in the early form and up to 20 days in the late one. There is a close correlation between the sum of positive temperatures from April 1 to April 10 and the number of days from April 10 to the beginning of leaf flushing ($r = 0.81$, $F = 38.8$) for the early form, and between the sum of positive temperatures from April 20 to May 5 and the number of days from May 5 to the beginning of leaf flushing ($r = 0.53$, $F = 8.8$) for the late form. Using the models obtained we could reliably forecast the leaf flush date, 13 days in advance for the early oak form and 11 days in advance for the late oak form. The error between the estimated date and the observed date was up to 4 days for the early form and 6 days for the late one. The average reliability of the forecast was 86 % for the early form and 64 % for the late one at a significance level of 5 %. Currently the sum of positive temperatures required for the beginning of leaf flushing is estimated to be 140–250 °C for the early phenological form and 350–440 °C for the late one. Due to global warming, the date of the beginning of leaf flushing has shifted by 10 days for the early form and by 7 days for the late one. The two phenological forms differ significantly in the timing of leaf flushing, as well as in the response to late spring frosts and to the positive accumulated temperature needed for oak budburst.

Keywords: English oak, phenology, leaf-flushing phase, regression analysis, prognosis

Прогнозирование фазы листораспускания фенологических форм дуба черешчатого

Е.Е. Кулаков, Л.В. Ширнина, А.Л. Мусиевский, С.А. Крюкова

Использована база данных фенологических наблюдений фазы листораспускания у ранней и поздней форм дуба черешчатого за 25-летний период в условиях Воронежской об-

ласти. Отмечены значительные колебания в датах листораспускания по годам, которые могут сдвигаться до 21 дня у ранней формы и до 20 дней – у поздней.

Установлена тесная корреляционная связь сумм положительных температур с 1 по 10 апреля и числом дней после 10 апреля до начала листораспускания ранней формы ($r = 0,81$, $F = 38,8$), а также сумм положительных температур с 20 апреля по 5 мая и числом дней после 5 мая до листораспускания поздней формы ($r = 0,53$, $F = 8,8$). Использование полученных моделей позволяет прогнозировать дату начала листораспускания для ранней и поздней форм дуба заблаговременно, за 13 суток для ранней формы и за 11 суток – для поздней. Ошибка прогнозов составляет 4 дня для ранней формы и 6 дней – для поздней. Средний критерий достоверности прогноза составил 86 % для ранней, 64 % – для поздней на 5 %-ном уровне значимости.

Для наступления фазы распускания листы в настоящее время требуется сумма положительных температур 140–250 °С для ранней феноформы, 350–440 °С – для поздней. В связи с потеплением климата произошло смещение сроков начала листораспускания на 10 дней у ранней формы и 7 дней – у поздней. Две феноформы дуба существенно различаются не только по срокам листораспускания, но и по реакции на поздние весенние заморозки и накопление положительных температур до наступления фенофазы листораспускания.

Ключевые слова: дуб черешчатый, фенология, фаза листораспускания, регрессионный анализ, прогноз

Кулаков Евгений Евгеньевич – инженер отдела селекции и семеноводства

E-mail: evgenyukulakov@yandex.ru

Ширнина Лариса Владимировна – ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, д-р с.-х. наук

E-mail: larisashirninina@mail.ru

Мусиевский Александр Леонидович – старший научный сотрудник отдела биоразнообразия, рационального лесопользования и лесовыращивания, канд. с.-х. наук

E-mail: musievsky@mail.ru

Крюкова Светлана Александровна – младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства

E-mail: skrukova@bk.ru

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии»

394087 Россия, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 105

Телефон: (473) 253-71-89

E-mail: ilgis@lesgen.vrn.ru

Введение

В условиях Воронежской области дуб черешчатый характеризуется широкой изменчивостью морфологических признаков и биоэкологических особенностей, обусловленных наследственностью и влиянием природно-климатических факторов. Фенологический ритм развития растений зависит от суточных и сезонных изменений прямого или косвенного воздействия факторов внешней среды [1, 5, 7]. Прогнозирование дат наступления фенологических фаз является одним из основных видов востребованной информации в селекции, защите растений и ботанике.

Традиционными предикторами, используемыми при составлении прогнозных моделей, являются показатели суммы положительных или эффективных температур и сроки наступления фенофаз в развитии растений. Такие модели являются достаточно точными, но имеют небольшую заблаговременность предсказания.

Цель нашей работы – построение моделей прогноза даты начала фазы листораспускания у ранней и поздней форм дуба черешчатого. Такие модели необходимы как для выявления закономерностей фенологического развития дуба на фоне меняющихся погодных условий, так и для построения технологических карт проведения мероприятий по защите дуба от болезней и вредителей. Исследования проводили в течение вегетационных периодов 1996–2020 гг. в условиях Воронежской области.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований служили модельные деревья дуба черешчатого, произрастающие на территории Правобережного участкового лесничества Пригородного лесничества Воронежской области в квартале 56, выделе 2 площадью 7,1 га и в выделе 55 площадью 1,4 га. Рельеф ровный. Насаждения представляют собой смешанные древостои, произрастающие в типе леса дубняк осоко-снытьевый, типе лесорастительных условий –

судубрава свежая (С₂Д). Состав древостоя в выделе 2 включает 3 единицы дуба черешчатого нагорного порослевого происхождения возрастом 110 лет, 2 единицы дуба черешчатого нагорного порослевого происхождения возрастом 80 лет, 3 единицы липы мелколистной возрастом 60 лет, 3 единицы липы мелколистной возрастом 90 лет, плюс клен остролиственный возрастом 60 лет, единично в насаждении встречается груша лесная возрастом 45 лет, плюс клен полевой возрастом 35 лет. Древостой имеет полноту 0,6 и произрастает по II классу бонитета. Всего было отобрано 23 дерева. В настоящее время модельные деревья имеют возраст 110 лет, средний диаметр – 48 см, среднюю высоту – 25 м. В выделе 55 площадью 1,4 га в состав насаждения входят 6 единиц дуба черешчатого нагорного низкоствольного возрастом 75 лет, 2 единицы липы мелколистной возрастом 55 лет, 2 единицы дуба черешчатого нагорного низкоствольного возрастом 90 лет, единично встречается клен остролиственный возрастом 55 лет. Полнота древостоя 0,6, класс бонитета – III. Отобранные 6 модельных деревьев в возрасте 75 лет имеют средний диаметр 26 см, среднюю высоту – 20 м.

Фенологические наблюдения проводили по методике Г.Э. Шульца [10] с регистрацией дат начала фазы «листораспускания». Учеты проводили с периодичностью от 2 до 10 дней, с последующим определением доли деревьев (%), вступивших в данную фазу. Значения температурных показателей взяты по данным сайта «Погода и климат» для Воронежской области [4].

Результаты исследования

В условиях Воронежской области в связи с общим потеплением климата средний календарный срок распускания листьев у феноформ дуба черешчатого изменился. В середине XX века средний календарный срок раскрытия листовых почек у раннего дуба приходился на 2 мая, у позднего – на 23 мая [2]. В настоящее время среднемноголетней датой листораспу-

скания у раннего дуба является 22 апреля, у позднего – 16 мая [8]. Отмечены значительные колебания этого признака по годам. Дата начала листораспускания может сдвигаться до 21 дня у ранней формы дуба и до 20 дней у поздней. Продолжительность периода листораспускания зависит от температурного режима текущего сезона: при равномерном и быстром накоплении тепла он сокращается, а при неравномерном, ступенчатом накоплении суммы температур – удлиняется. Последнее происходит и при значительном промерзании почвы во время бесснежных суровых зим. По данным В.К. Ширнина [8], в Теллермановской роще в период 1967–1969 гг. позднему дубу требовалось 480–525 °С положительных и 262–309 °С эффективных температур, а раннему – соответственно, 260–277 °С и 92–148 °С. Такое различие между двумя формами дуба, по мнению Д.П. Викторова [по: 8], объясняется разницей в содержании жиров в листовых почках. Позднему дубу, в почках которого жиров на 25 % больше, чем у раннего, для полного завершения периода глубокого покоя требуется воздействие большей суммы положительных температур.

В условиях Пригородного лесничества Воронежской области с 1996 по 2020 г. начало фазы листораспускания у ранней формы дуба происходило при накоплении суммы положительных температур за период с 1 по 10 апреля равной 140–250 °С, у поздней – 350–440 °С. Следовательно, в условиях потепления климата вегетационный период у дуба черешчатого начинается раньше и для наступления фазы листораспускания требуется меньшая сумма положительных температур.

Первый опыт составления краткосрочного прогноза на основе метода фенологического лага [10], при котором были использованы фенологические предикторы (начало роста первого и второго приростов дуба и начало развития мучнистой росы) осуществлен Л.В. Ширниной с целью оптимизации защиты дуба от этого заболевания в условиях Воронежской области [9].

Для прогнозирования сроков наступления фазы листораспускания феноформ дуба в качестве предикторов использованы два фактических показателя: 1 – сумма положительных температур, накопленных за период 1–10 апреля для ранней формы и за период 20 апреля – 5 мая – для поздней формы; 2 – число дней от 10 апреля до начала листораспускания (для ранней формы) и число дней от 5 мая до начала листораспускания – для поздней формы. На основе материалов многолетних наблюдений (1996–2017 гг., данные В.К. Ширнина; 2018–2020 гг. – С.А. Крюковой) [3], используя метод регрессионного анализа, А.Л. Мусиевский и Е.Е. Кулаков рассчитали две прогнозные модели, позволяющие определять начало фазы листораспускания для ранней и поздней форм дуба черешчатого в условиях Воронежской области:

$$Y = 24,88 - 0,206 * x \pm 3,46 \quad (1)$$

$$R = 0,806, F = 38,8$$

$$Y = 32,16 - 0,107 * x \pm 5,41 \quad (2),$$

$$R = 0,525, F = 8,8$$

где Y – прогнозируемая дата начала фазы листораспускания;

x – сумма положительных температур с 1 по 10 апреля (1) и с 20 апреля по 5 мая (2);

R – коэффициент корреляции;

F – критерий Фишера.

Использование полученных моделей позволяет прогнозировать дату начала листораспускания для ранней (формула 1) и поздней (формула 2) форм дуба черешчатого заблаговременно, за 13 суток для ранней формы и за 11 суток – для поздней. Критерии оценки прогноза (P – критерий достоверности) определяли по «Руководству по агрометеорологическим прогнозам» [6]:

$$P = 100 \% \Delta = \pm 2 \text{ дня}$$

$$P = 75 \% \Delta = \pm 3-4 \text{ дня}$$

$$P = 50 \% \Delta = \pm 5 \text{ дней}$$

$$P = 0 \% \Delta > \pm 5 \text{ дней}$$

Средний критерий достоверности прогноза для ранней формы дуба (формула 1) составил 86 %, для поздней – 64 % на 5 %-ном уровне значимости. Ошибка прогнозов составляет 4 дня для ранней формы и 6 дней – для поздней. Проверка полученных моделей (формулы 1 и 2) краткосрочного прогноза представлена в таблице.

Таблица

Проверка моделей краткосрочного прогноза наступления фенофазы листораспускания у ранней и поздней форм дуба черешчатого

Год	Феноформа	Уравнение прогноза	Доверительный интервал, дни	Число дней до начала листораспускания после накопления Σ_{T+}	
				Фактическое	Ожидаемое
1996	ранняя**	$24,88 - 0,206 \cdot 24,7$	11–19	19	15
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 195,8$	5–15	11	10
1997	ранняя**	$24,88 - 0,206 \cdot 53,2$	13–21	14	17
	поздняя**	$32,16 - 0,107 \cdot 135,2$	17–27	18	22
1998	ранняя**	$24,88 - 0,206 \cdot 28,8$	17–25	18	21
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 189,6$	16–26	19	21
1999	ранняя**	$24,88 - 0,206 \cdot 62,3$	5–13	12	9
	поздняя**	$32,16 - 0,107 \cdot 185,3$	12–22	13	17
2000	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 86,1$	4–12	7	8
	поздняя***	$32,16 - 0,107 \cdot 200,2$	17–27	11	22
2001	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 79,1$	6–14	9	10
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 236,8$	4–14	7	9
2002	ранняя***	$24,88 - 0,206 \cdot 40,1$	5–13	16	9
	поздняя***	$32,16 - 0,107 \cdot 216,9$	10–20	9	15
2003	ранняя**	$24,88 - 0,206 \cdot 25,8$	19–27	20	23
	поздняя**	$32,16 - 0,107 \cdot 169$	12–22	14	17
2004	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 48$	8–16	14	12
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 169,8$	11–21	15	16
2005	ранняя**	$24,88 - 0,206 \cdot 51,3$	15–23	14	19
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 171,4$	7–17	14	12
2006	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 47,2$	11–19	15	15
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 170$	10–20	15	15
2007	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 68,6$	9–17	11	13
	поздняя***	$32,16 - 0,107 \cdot 120,1$	9–19	19	14
2008	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 179,9$	10–20	13	15
2009	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 46,3$	14–22	16	18
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 182,6$	7–18	13	13
2010	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 76,1$	8–16	10	12
	поздняя***	$32,16 - 0,107 \cdot 206,7$	0–10	10	4
2011	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 34,2$	15–23	18	19
	поздняя***	$32,16 - 0,107 \cdot 214,2$	10–20	10	15

Год	Феноформа	Уравнение прогноза	Доверительный интервал, дни	Число дней до начала листораспускания после накопления Σ_{T+}	
				Фактическое	Ожидаемое
2012	ранняя***	$24,88 - 0,206 \cdot 56,3$	3–11	13	7
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 258,9$	0–7	4	2
2013	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 61,7$	8–16	12	12
	поздняя**	$32,16 - 0,107 \cdot 220,4$	0–9	8	4
2015	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 35,6$	13–21	17	17
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 194,2$	7–17	11	12
2016	ранняя**	$24,88 - 0,206 \cdot 81,4$	0–8	8	4
	поздняя***	$32,16 - 0,107 \cdot 171,1$	0–10	14	5
2017	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 82,0$	6–14	8	10
	поздняя***	$32,16 - 0,107 \cdot 192,5$	0–10	11	5
2018	ранняя**	$24,88 - 0,206 \cdot 53,2$	13–21	14	17
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 233,6$	4–14	7	9
2019	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 67,3$	8–16	11	12
	поздняя*	$32,16 - 0,107 \cdot 211,3$	4–14	9	9
2020	ранняя*	$24,88 - 0,206 \cdot 63,9$	10–18	12	14
	поздняя***	$32,16 - 0,107 \cdot 185,7$	1–11	12	6

Примечание. * – высокая оправдываемость, ** – хорошая оправдываемость, *** – удовлетворительная оправдываемость. Полученные прогнозные модели надежны и в среднем имеют высокую и хорошую оправдываемость для обеих фенологических форм дуба.

Выводы

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Наиболее надежным предиктором для прогнозирования даты начала фазы листораспускания дуба черешчатого является сумма положительных температур за период с 1 по 10 апреля (для ранней формы) и с 20 апреля по 5 мая (для поздней формы).

2. Вторым предиктором для расчета прогнозных моделей является число суток после

10 апреля для ранней формы и после 5 мая – для поздней.

3. В настоящее время в условиях Воронежской области для наступления фазы распускания листьев требуется сумма положительных температур 140–250 °С для ранней формы дуба черешчатого (за период 1–10 апреля) и 350–440 °С – для поздней формы (с 20 апреля по 5 мая). Увеличение за последние десятилетия среднегодовых температур привело к смещению сроков начала листораспускания на 10 дней у ранней формы и на 7 дней – у поздней.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булыгин, Н.Е. Фенологические особенности некоторых видов *Larix Mill.* в Санкт-Петербурге / Н.Е. Булыгин // Растительные ресурсы. – 2000. – Вып. 3. – С. 39–47.
2. Енькова, Е.И. Влияние температуры воздуха на набухание и раскрытие листовых почек черешчатого дуба / Е.И. Енькова // Науч. зап. ВЛТИ. – Воронеж, 1960. – Т. XXI. – С. 71–85.

3. Крюкова, С.А. Плодоношение дубрав и плюсовых деревьев дуба черешчатого / С.А. Крюкова, В.К. Ширнин // Лесотехнический журнал. – 2016. – № 2. – С. 22–30.
4. Мониторинг погоды и климата по городам России, стран СНГ, США и мира – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitors.php?id=rus>
5. Сильченко, И.И. Ландшафтный подход в обосновании создания насаждений дуба черешчатого различных фенологических форм в Брянской области/ И.И. Сильченко // Лесохоз.информ.: электрон. сетевой журн. – 2019. – № 1. – С. 6–18. – URL: <http://lhi.vniilm.ru/>
6. Уланова, Е.С. Руководство по агрометеорологическим прогнозам / Е.С. Уланова, Т.Ф. Богданова, Р.С. Мкртчян, Н.В. Гулинова, С.А. Бедарев. Л.: Гидрометеоиздат, 1984, 309 с.
7. Уткина, И.А. Исследования фенологических форм дуба черешчатого / И.А. Уткина, В.В. Рубцов // Лесоведение. – 2016. – № 6. – С. 466–475.
8. Ширнин, В.К. Селекция на качество древесины (на примере дуба черешчатого и других пород в ЦЧО) / В.К. Ширнин: дис. ... д-ра с.-х. наук. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 276 с.
9. Ширнина, Л.В. Мониторинг развития патосистем в насаждениях древесных растений: экобиологические основы и практическое значение / Л.В. Ширнина, В.К. Ширнин, И.Я. Львович. – Воронеж: ИПЦ Научная книга, 2014. – 204 с.
10. Шульц, Г.Э. Общая фенология / Г.Э. Шульц. – Л.: Наука, 1981. – 188 с.

REFERENCES

1. Bulygin N.E. Fenologicheskie osobennosti nekotorykh vidov *Larix* Mill. v Sankt-Peterburge. *Rastitel'nye resursy*, 2000, no. 3, pp. 39–47. (In Russian)
2. En'kova E.I. Vliyanie temperatury vozdukhа na nabukhanie i raskrytie listovykh pochetk chereschatogo duba. *Nauch. zap. VLTI. Voronezh*, 1960, vol. 21, pp. 71–85. (In Russian)
3. Kryukova S.A., Shirnin V.K. Plodonoshenie dubrav i plyusovykh derev'ev duba chereschatogo. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2016, no. 2, pp. 22–30. (In Russian)
4. Monitoring pogody i klimata po gorodam Rossii, stran SNG, SSHA i mira. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitors.php?id=rus> (In Russian)
5. Sil'chenko I.I. Landshaftnyj podkhod v obosnovanii sozdaniya nasazhdenij duba chereschatogo razlichnykh fenologicheskikh form v Bryanskoj oblasti Lesokhoz.inform.: elektron. setевой zhurn, 2019, no. 1, pp. 6–18. URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (In Russian)
6. Ulanova E.S., Bogdanova T.F., Mkrтчyan R.S, Gulіnova N.V., Bedarev S.A. Rukovodstvo po agrometeorologicheskim prognozam. Leningrad, 1984, 309 p. (In Russian)
7. Utkina I.A., Rubtsov V.V. Issledovaniya fenologicheskikh form duba chereschatogo. *Lesovedenie*, 2016. no. 6, pp. 466–475. (In Russian)
8. Shirnin, V.K. Seleksiya na kachestvo drevesiny (na primere duba chereschatogo i drugikh porod v TsChO). Doctor's thesis. St. Petersburg, 1999, 276 p. (In Russian)
9. Shirnina L.V., Shirnin V.K., L'vovich I.Ya. Monitoring razvitiya patosistem v nasazhdeniyakh drevesnykh rastenij: ekobiologicheskie osnovy i prakticheskoe znachenie. Voronezh, 2014, 204 p. (In Russian)
10. Shul'ts G.E. Obschaya fenologiya. Leningrad, 1981, 188 p. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 19.05.2021