УДК 581.5:58.056:502.72(571.53/.55) DOI: 10.14258/pbssm.2026049

Зависимость между зацветанием иван-чая узколистного и элементами климата в Южном Прибайкалье

Relationship between the flowering of fireweed and climate factors in the Southern Baikal region

Ермакова О. Д.

Ermakova O. D.

Байкальский биосферный заповедник, п. Танхой, Россия. E-mail: olerm@list.ru
Baikal State Nature Reserve, Tankhoy Village, Russia

Реферат. Начало фенологических сезонов года в природных комплексах заповедников определяется по дате наступления конкретных фенологических явлений. Иван-чай является одним из индикаторных видов растений для характеристики летнего фенологического сезона в Южном Прибайкалье. В настоящей статье представлены материалы по многолетней динамике даты зацветания иван-чая узколистного – *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. в связи с параметрами температуры воздушной среды. Работы проводились в течение 1981–2024 гг. в центральной части северного макросклона хр. Хамар-Дабан (охранная зона Байкальского биосферного заповедника). Однотипность направленности линий тренда для даты зацветания иван-чая с датами переходов среднесуточной и минимальной температуры воздуха выше 10 °С свидетельствует о сопряжённости его развития с изменением температурного фона региона. Все фенологические явления к окончанию периода исследований обнаруживают стойкую тенденцию к наступлению в более ранние сроки. Статистический анализ показал невысокую изменчивость даты зацветания иван-чая, дат переходов среднесуточной и минимальной температур воздуха выше 10 °С, июньской температуры (°С) воздуха. Корреляционный анализ доказывает определяющее значение теплового фактора для периода цветения у иван-чая. Рост температуры воздуха в июне однозначно приводит к более раннему наступлению фазы цветение.Важным моментом для зацветания иван-чая является наступление периода, когда минимальная температура воздуха регулярно находится на уровне выше 10 °С, а аналогичная среднесуточная температура воздуха устанавливается окончательно. Чем раньше складываются такие погодные условия, тем раньше зацветает иван-чай.

Ключевые слова. Дата зацветания, корреляционный анализ, параметры температуры воздуха, статистический анализ, *Chamaenerion angustifolium.*

Summary. The onset of phenological seasons in nature reserve complexes is determined by the date of occurrence of specific phenological phenomena. Fireweed is one of the indicator plant species for characterizing the summer phenological season in the Southern Baikal region. This article presents data on the long-term dynamics of the flowering date of fireweed (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) in relation to air temperature parameters. The study was conducted from 1981 to 2024 in the central part of the northern macroslope of the Khamar-Daban Ridge (protected zone of the Baikal Biosphere Reserve). The consistent trend lines for the fireweed flowering date and the dates when the average daily and minimum air temperatures exceed 10 °C indicate that its development is linked to changes in the regional temperature background. All phenological phenomena showed a consistent tendency toward earlier onset by the end of the study period. Statistical analysis revealed low variability in the fireweed flowering date, the dates when the average daily and minimum air temperatures exceed 10 °C, and the June air temperature (°C). Correlation analysis demonstrates the decisive role of the temperature factor in the fireweed flowering period. Rising air temperatures in June clearly lead to an earlier onset of the flowering phase. A crucial moment for fireweed flowering is the onset of a period when the minimum air temperature is regularly above 10°C, and a similar average daily air temperature is permanently established. The earlier these weather conditions develop, the earlier the fireweed blooms.

Key words. Air temperature parameters, correlation analysis, flowering date, statistical analysis, *Chamaenerion angustifolium*.

Введение. Фенологические наблюдения, проводимые на особо охраняемых природных территориях, являются важнейшей частью геосистемного мониторинга. Без накопления и обобщения зна-

ний об особенностях и закономерностях сезонной динамики природных комплексов регионов невозможно грамотное рациональное природопользование. В Байкальском заповеднике ведётся Летопись природы (Филонов, Нухимовская, 1985), в которой детально отмечаются изменения в природе, свойственные каждому году. Важной составной частью Летописи являются метеорологические и фенологические наблюдения. Основными временными показателями в фенологии считаются календарные даты наступления сезонного явления. Начало фенологических сезонов года в природных комплексах определяется по дате наступления конкретных фенологических явлений, поскольку их развитие зависит от многих факторов среды обитания, особенно от температурного режима, который поддаётся объективному количественному учёту. Одним из индикаторных видов растений в Южном Прибайкалье считается иван-чай узколистный. Исследовалась многолетняя динамика даты начала его зацветания в связи с параметрами температуры воздушной среды.

Материалы и методы. Наиболее вероятным способом оценить зависимость феноритмов растений от экологических факторов можно посредством применения статистического анализа, в частности, путём выявления корреляционной связи между определёнными параметрами.

В настоящей статье представлены материалы по многолетней динамике зацветания иван-чая узколистного – *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. в связи с изменением климатической обстановки. В Южном Прибайкалье дата начала цветения этого вида символизирует наступление субсезона «Разгар лета» летнего фенологического сезона, когда в регионе устанавливается минимальная температура воздуха выше 10 °С.

Работы проводились в течение 1981–2024 гг. в центральной части северного макросклона хр. Хамар-Дабан (охранная зона Байкальского биосферного заповедника) в рамках Летописи природы. Объектами исследований послужили даты наступления следующих фенологических явлений: Зацветание иван-чая; Относительно регулярный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С; Окончательный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С; Первый переход минимальной температуры воздуха выше 10 °С; Относительно регулярный переход минимальной температуры воздуха выше 10 °С; Окончательный переход минимальной температуры воздуха выше 10 °С. А также – показатели среднесуточной, минимальной и максимальной температуры воздуха (°С) в июне. Дата зацветания иван-чая определялась методом визуального наблюдения. Погодные характеристики фиксировались по архивным сводкам метеорологических элементов метеостанции «Танхой». При статистической обработке дат наступления фенологических явлений применялся общепринятый метод перевода календарных дат в непрерывный ряд (Зайцев, 1991), когда началом фенологического года считается первое марта. Рисунки построены с учётом этого метода.

Связь между исследуемыми параметрами оценивалась в соответствии с величиной коэффициента корреляции (Кремер, 2002). Для данной статистической выборки (объём совокупности – n = 42–44 и число степеней свободы – df = 40–42) коэффициент корреляции (r) при уровне значимости (P) = 0,05 достоверен, если он не ниже 0,30; а при уровне значимости (P) = 0,01 достоверен, если он не ниже 0,39 (Рокицкий,1973).

Результаты исследований и их обсуждение. В таблицах 1 и 2 даны результаты статистической обработки дат наступления фенологических явлений и параметров температуры воздуха (°С) в июне.

Таблица 1. Статистические характеристики дат наступления фенологических явлений (1981–2024 гг.)*

n	$\overline{X}$		X_{min}		X_{max}		σ	V,%	$S_{\overline{X}}$
	Дата		Дата		Дата				
	Календарная	По Зайцеву	Календарная	По Зайцеву	Календарная	По Зайцеву			
1	2		3		4		5	6	7
Зацветание иван-чая									
43	5 VII	127	20 VI	112	19 VII	141	6,494	5,1	0,98

Продолжение табл. 1

Относительно регулярный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С									
1	2		3		4		5	6	7
42	2 VI	94	12 V	73	20 VI	112	8,748	9,3	1,35
Окончательный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С									
42	18 VI	110	5 VI	97	1 VII	123	7,458	6,8	1,15
Первый переход минимальной температуры воздуха выше 10 °С									
43	15 VI	107	19 V	80	5 VII	127	11,958	10,0	1,82
Относительно регулярный переход минимальной температуры воздуха выше 10 °С									
43	2 VII	124	20 VI	112	18 VII	140	7,264	5,8	1,11
Окончательный переход минимальной температуры воздуха выше 10 °С									
43	15 VII	137	2 VII	124	30 VII	152	7,486	5,5	1,14

*Примеч.: 1 – объём совокупности; 2 – среднее арифметическое значение; 3 – минимальное значение; 4 – максимальное значение; 5 – среднее квадратическое отклонение (или стандартное отклонение); 6 – коэффициент вариации; 7 – ошибка средней арифметической.

Таблица 2. Статистические характеристики параметров температуры воздуха (°С) в июне (1981–2024 гг.)*

n	X_{min}	X_{min}	X_{max}	σ	σ	V,%	$S_{\bar{X}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Среднесуточная температура воздуха							
44	11,6	8,6	14,5	1,626	1,275	10,9	0,19
Минимальная температура воздуха							
44	6,5	4,1	8,5	1,246	1,116	17,2	0,16
Максимальная температура воздуха							
44	17,5	14,7	20,4	1,948	1,395	8,0	0,21

*Примеч.: 1 – объём совокупности; 2 – среднее арифметическое значение; 3 – минимальное значение; 4 – максимальное значение; 5 – средний квадрат отклонений показателя от средней арифметической; 6 – среднее квадратическое отклонение (или стандартное отклонение); 7 – коэффициент вариации; 8 – ошибка средней арифметической.

Степень вариации оценивалась по коэффициенту вариации (Лакин, 1990). Варьирование считается слабым, если коэффициент вариации не выше 10%; средним, если он равен 11–25 %; значительным, если он более 25 %. Согласно этим рекомендациям, изменчивость исследуемых фенологических явлений классифицируется как слабая. Вариабельность температуры воздуха (°С) градуируется как слабая и средняя. Самые низкие показатели вариации выявлены для даты зацветания иван-чая. В соответствии с этим, температурный режим среды для его флорального периода можно считать вполне благоприятным и стабильным.

Материалы, помещённые в таблице 3, доказывают наличие сопряжённости зацветания иван-чая с изменением температурного фона региона.

Свидетельством данного вывода служит однотипность направленности линий тренда для даты зацветания иван-чая с аналогами, характеризующими переходы температуры воздуха через десятиградусный барьер. Все фенологические явления к окончанию периода исследований обнаруживают стойкую тенденцию к наступлению в более ранние сроки. В целом, очевидно, что такая ситуация обеспечивается ростом температуры воздуха июня в Южном Прибайкалье.

Настоящее положение подтверждается также проведённым корреляционным анализом. На рисунке 1 отражена корреляционная связь дат наступления фенологических явлений с продолжительностью периода наблюдений. Для всех исследуемых компонентов выявлена достоверная отрицательная

корреляционная связь, из этого следует, что к окончанию периода наблюдений дата зацветание иван-чая, а также даты переходов среднесуточной и минимальной температур воздуха показывают тенденцию к более раннему началу.

Таблица 3. Показатели линейного тренда (Y) дат наступления фенологических явлений и параметров температуры воздуха (°C) в июне (1981–2024 гг.)

Фенологическое явление (дата наступления) 1981–2024 гг.	Тренд
Зацветание иван-чая	y = -0,2526x + 132,59
Относительно регулярный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °C	y = -0,2352x + 98,103
Окончательный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °C	y = -0,3014x + 116,35
Первый переход минимальной температуры воздуха выше 10 °C	y = -0,4054x + 115,46
Относительно регулярный переход минимальной температуры воздуха выше 10 °C	y = -0,3167x + 130,99
Окончательный переход минимальной температуры воздуха выше 10 °C	y = -0,2021x + 140,89
Параметры температуры воздуха в июне 1981–2024 гг.	
Среднесуточная температура воздуха (°C)	y = 0,0571x + 10,32
Минимальная температура воздуха (°C)	y = 0,0484x + 5,4029
Максимальная температура воздуха (°C)	y = 0,0249x + 16,963

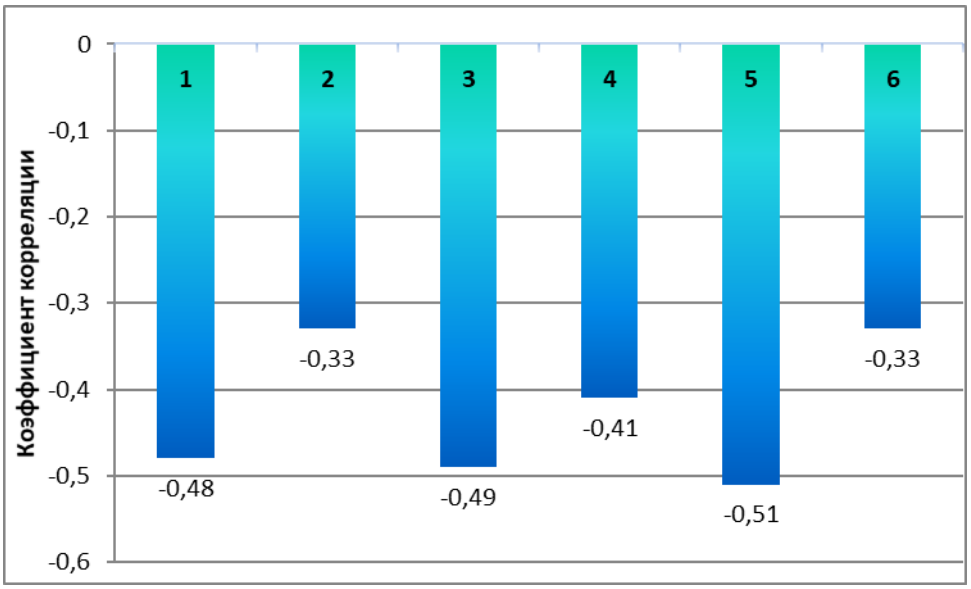


Рис. 1. Корреляционная связь дат наступления фенологических явлений с продолжительностью периода наблюдений. Условные обозначения: 1 – Зацветание иван-чая; 2 – Относительно регулярный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °C; 3 – Окончательный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °C; 4 – Первый переход минимальной температуры воздуха выше 10 °C; 5 – Относительно регулярный переход минимальной температуры воздуха выше 10 °C; 6 – Окончательный переход минимальной температуры воздуха выше 10 °C.

На рисунке 2 показана корреляционная связь параметров температуры воздуха (°C) в июне с продолжительностью периода наблюдений.

Июньская среднесуточная и минимальная температуры воздуха к окончанию периода наблюдений отображают чёткую тенденцию к повышению, на что указывает наличие достоверной положительной корреляции. Для максимальной температуры воздуха достоверной корреляционной связи не обнаружено.



Рис. 2. Корреляционная связь параметров температуры воздуха (°С) в июне с продолжительностью периода наблюдений.

На рисунке 3 продемонстрирована корреляционная связь даты зацветания иван-чая с параметрами температуры воздуха (°С) в июне.

Корреляционная связь достоверная отрицательная, это доказывает, что рост температуры воздуха в июне однозначно приводит к более раннему началу цветения у иван-чая.

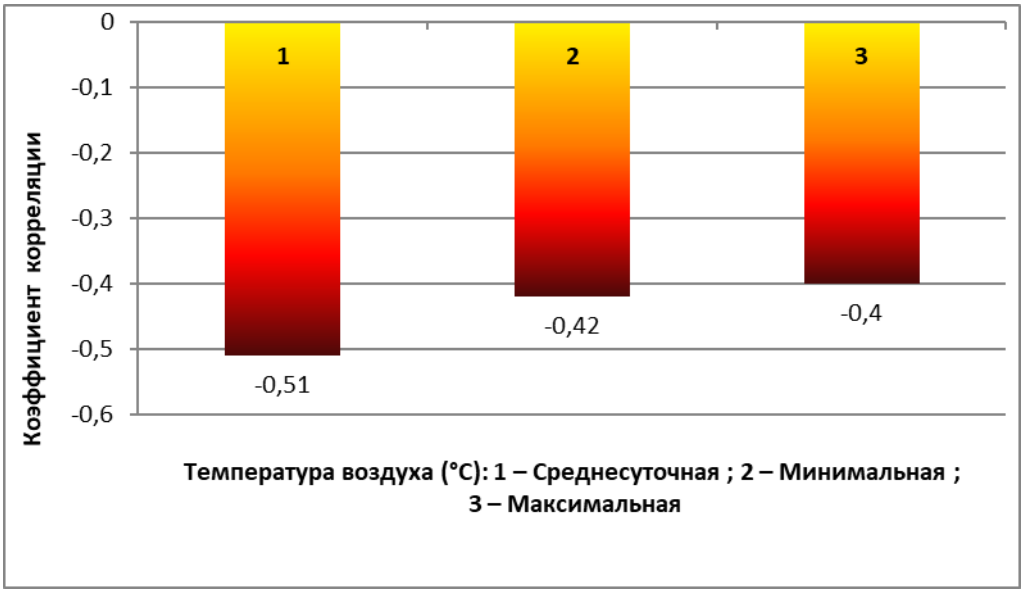


Рис. 3. Корреляционная связь даты зацветания иван-чая с параметрами температуры воздуха (°С) в июне.

Наиболее значимым фактором следует считать среднесуточную температуру воздуха, показывающую более тесную корреляционную связь.

Рисунок 4 подтверждает тесную зависимость даты зацветания иван-чая от конкретных метеорологических параметров.

Достоверная прямая корреляционная связь даты зацветания иван-чая выявлена с тремя климатическими элементами: окончательный переход среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С; первый переход минимальной температуры воздуха выше 10 °С; относительно регулярный переход

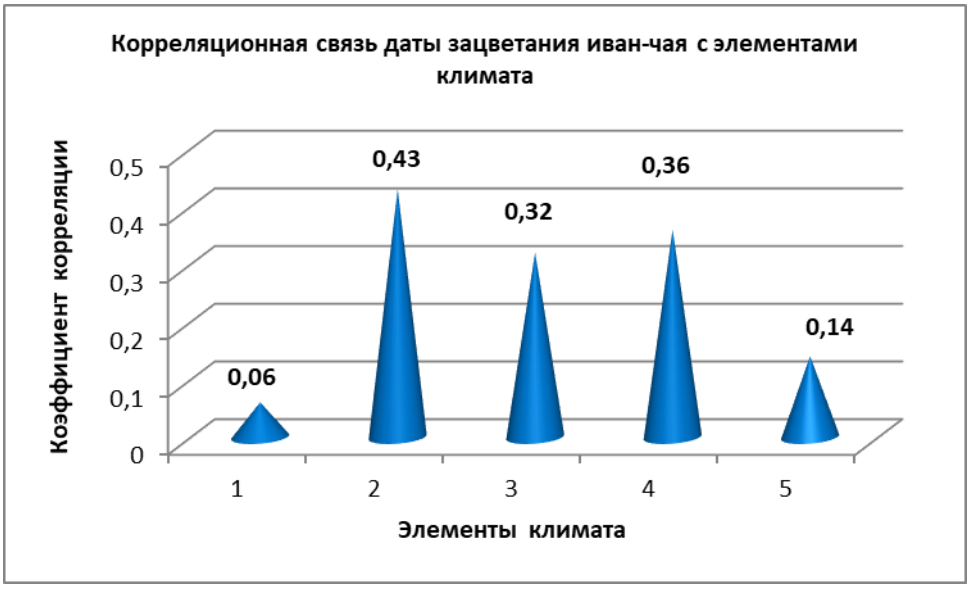


Рис. 4. Корреляционная связь даты зацветания иван-чая с датами перехода среднесуточной и минимальной температур воздуха выше 10 °С. Условные обозначения: 1 – Относительно регулярный переход среднесуточной; 2 – Окончательный переход среднесуточной; 3 – Первый переход минимальной; 4 – Относительно регулярный переход минимальной; 5 – Окончательный переход минимальной.

минимальной температуры воздуха выше 10 °С. Наиболее тесная связь зацветания иван-чая зафиксирована с датой окончательного перехода среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С и датой относительно регулярного перехода минимальной температуры воздуха выше 10 °С. Справедливо полагать, что чем раньше осуществятся переходы вышеозначенных температур воздуха через температурный рубеж в десять градусов, тем раньше начнётся цветение у иван-чая. Для даты относительно регулярного перехода среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С и для даты окончательного перехода минимальной температуры воздуха выше 10 °С достоверной корреляционной связи не установлено.

Выводы.

1. Статистическим анализом доказано, что за период наблюдений (1981–2024 гг.) изменчивость даты зацветания иван-чая и дат переходов среднесуточной и минимальной температур воздуха выше 10 °С градуируется как слабая; вариабельность июньской температуры (°С) – как слабая и средняя. Самые низкие показатели вариации выявлены для даты зацветания иван-чая. В соответствии с этим, температурный режим среды для его флорального периода можно считать вполне соответствующим его биологическим потребностям.

2. За описываемый период (1981–2024 гг.) выявлено наличие сопряжённости даты зацветания иван-чая с изменением температурного фона региона. Об этом свидетельствует однотипность направленности линий тренда для даты зацветания иван-чая с датами переходов среднесуточной и минимальной температуры воздуха выше 10 °С. Все фенологические явления к окончанию периода исследований обнаруживают стойкую тенденцию к наступлению в более ранние сроки.

3. Проведённый корреляционный анализ позволяет констатировать значимость теплового фактора для сроков начала цветения у иван-чая. Рост температуры воздуха в июне однозначно приводит к более раннему наступлению фазы цветение. Выявлены устойчивые корреляционные связи даты начала зацветания иван-чая со среднесуточной, минимальной и максимальной температурой воздуха июня. Наиболее весомым компонентом следует признать среднесуточную температуру воздуха, показавшую самое высокое значение коэффициента корреляции.

4. Определена достоверная прямая корреляционная связь даты зацветания иван-чая с элементами климата. Важным для зацветания иван-чая моментом является наступление периода, когда минимальная температура воздуха регулярно находится на уровне выше 10 °С, а аналогичная среднесуточная температура воздуха устанавливается окончательно. Чем раньше складываются такие погодные условия, тем раньше зацветает иван-чай.

ЛИТЕРАТУРА

Зайцев Г. Н. Математический анализ биологических данных. – М.: Наука, 1991. – 184 с.

Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2002. – 543 с.

Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высш. шк., 1990. – 293 с.

Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. – Минск: Вышейш. школа, 1973. – 320 с.

Филонов К. П., Нухимовская Ю. Д. Летопись природы в заповедниках СССР: Метод. Пособие. – М.: Наука, 1985. – 143 с.