

## ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

УДК 57.045+58.009

**Влияние климатических факторов на продолжительность цветения видов в Карадагском природном заповеднике****В.Ю. Летухова\* , А.В. Зуев, И.Л. Потапенко***Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН,  
Россия, 298188, Крым, Феодосия, Курортное, ул. Науки, д. 24**\*e-mail: letukhova@gmail.com*

Фенологические реакции растений на изменение погодных условий очень сильны и могут служить индикатором глобального изменения климата. Поняв, как отдельные виды реагируют на изменяющиеся условия, можно смоделировать, как изменятся экосистемы в целом. В данной статье анализируется влияние климатических факторов (температуры воздуха и осадков) на продолжительность цветения дикорастущих видов сосудистых растений Карадагского природного заповедника (Крым). Было учтено 152 вида растений с рядом фенологических наблюдений от 5 до 8 лет. Корреляционный анализ между продолжительностью цветения и климатическими факторами выявил высокую зависимость у 89 (58,6%) видов. При этом климатические факторы текущего вегетационного периода оказывали влияние на цветение 71 вида, предыдущего вегетационного периода – на цветение 4 видов, обоих вегетационных периодов – на цветение 14 видов. Температура воздуха и осадки примерно в равной степени оказывают влияние на продолжительность цветения видов. У 35 (41,2%) видов отмечена корреляция между продолжительностью цветения и температурой воздуха; у 32 (37,7%) – между продолжительностью цветения и осадками; у 18 (21,1%) обнаружено влияние обоих параметров. Чаще всего продолжительность цветения отрицательно коррелировала со значениями температуры воздуха и положительно – с количеством осадков. Наиболее чувствительные к климатическим факторам оказались мезофиты и виды, произрастающие в лесных сообществах, наименее чувствительные – эуксерофиты и виды, произрастающие в степных сообществах.

**Ключевые слова:** *влияние климата, сосудистые растения, фенология цветения, мониторинг, Карадагский заповедник, Крым*

**DOI:** 10.55959/MSU0137-0952-16-2022-77-4-258-265

В последние годы проблема изменения климата становится все более актуальной. В отчете Межправительственной группы экспертов по изменению климата сделан вывод о том, что средняя глобальная температура, в зависимости от сценария выбросов парниковых газов, повысится на 1,8–4,0°C. Это будет сопровождаться изменением характера осадков и увеличением изменчивости климата. Ответные реакции организмов, включающие изменения в физиологии, численности популяций, географическом распространении и смещении сезонных сроков развития, часто недостаточны для того, чтобы справиться с подобными трансформациями [1, 2].

Глобальные перемены отражаются на состоянии экосистем. Поняв, как отдельные виды реагируют на изменяющиеся климатические условия, мы сможем смоделировать, как изменятся экосистемы в целом. В частности, фенологические показатели растений (срок и длительность цветения) очень чувствительны к ежегодной изменчивости погоды. Таким образом, они могут служить инди-

катором долгосрочных биологических последствий изменения климата [3–7].

Изменение климата может повлиять на цветение растений, и этот факт имеет большое значение для функционирования экосистем, например, из-за потенциального разделения времени цветения и жизненных циклов опылителей [8, 9]. Продолжительность цветения важна, так как более длительный период цветения может предоставить больше возможностей для размножения растений. Как следствие, репродуктивный успех будет способствовать распространению вида [7, 10, 11]. Поэтому в последние годы фенологические наблюдения вышли из тени и стали основным компонентом исследований изменения климата. Отчасти это связано с тем, что фенологические реакции растений на изменения температуры очень сильны. Важным моментом является то, что фенологические изменения относительно легко идентифицировать, особенно по сравнению с изменениями в распространении, морфологии видов, численности популяций [12].

Мониторинг сезонного развития дикорастущих растений сосредоточен в заповедниках и национальных парках России. Сотрудниками заповедников ведется «Летопись природы» – документ, в который систематически, в течение длительного времени, собираются сведения о динамике природных явлений. Цель данного исследования – определить влияние климатических факторов (температуры воздуха и осадков) на продолжительность цветения видов сосудистых растений Карадагского природного заповедника.

### Материалы и методы

Предметом исследования стали данные «Летописи природы» Карадагского природного заповедника за период с 2012 по 2020 гг. Карадагский горный массив расположен в восточной части Южного берега Крыма в городском округе Феодосия между поселками Коктебель, Шебетовка и Курортное. С 1979 г. его территория охраняется государством: создан Карадагский природный заповедник, который имеет площадь 2065,1 га суши и 809,1 га морской акватории. Наблюдения проводились на территории Карадагского ландшафтно-экологического стационара (КЛЭС), организованного в 1993 г. Он расположен в юго-западной части Карадагского заповедника на юго-восточном склоне хребта Беш-Таш и охватывает территорию водосбора склоновой балки площадью 17 га.

В основу работы положены многолетние фенологические и метеорологические наблюдения, проводимые на КЛЭС. Использованы ряды данных измерений температуры воздуха и количества осадков. Метеорологическая площадка КЛЭС расположена в нижней части водосбора на относительно ровной поверхности (экспозиция СВ, крутизна 5°), в 15 м от тальвега балки на высоте 140 м ниже уровня моря. Рядом с пунктами наблюдения за температурным режимом на открытом степном участке и под лесным пологом установлены сосуды для сбора осадков.

Гидротермический коэффициент Селянинова (ГКС) был рассчитан по следующей формуле:

$$ГКС = \Sigma_r \times 10 / \Sigma_t,$$

где  $\Sigma_r$  – сумма осадков (мм) за рассматриваемый период календарного года со среднесуточными температурами выше 10°C;  $\Sigma_t$  – сумма активных температур (САТ) за тот же период календарного года.

С 2013 г. проводился фенологический учет цветущих видов растений. Фиксировали даты наступления и окончания цветения 152 дикорастущих видов, произрастающих на территории КЛЭС в различных растительных сообществах (в петрофитной степи, кустарниковых и лесных сообществах). Наблюдения проводились над популяциями видов. Началом цветения считали день, когда в фазу цветения вступало 5–10% по-

пуляции. Конец цветения отмечался в день отсутствия цветков.

С помощью непараметрического коэффициента корреляции Спирмена ( $r$ ) была определена зависимость между продолжительностью цветения видов и климатическими факторами. Зависимость считалась высокой, если  $r \leq 0,05$ ; заметной (по шкале Чеддока), если  $0,05 < r \leq 0,1$ , и отсутствующей, если  $r > 0,1$ . При изучении влияния температуры было взято несколько параметров: среднегодовая температура, САТ (°C) за период со среднесуточной температурой выше 10°C, среднемесячные температуры на разных стадиях развития растения (месяц бутонизации, месяц начала цветения, месяц конца цветения или два последующих месяца, если продолжительность цветения была больше 30 сут). Продолжительность цветения считали коррелирующей со значениями температуры воздуха, если она коррелировала с одним или несколькими из этих параметров. При изучении влияния осадков были взяты следующие параметры: сумма осадков за год; количество осадков в месяц начала цветения вида; в месяц, предшествующий цветению (в фазу бутонизации); в месяц, следующий за началом цветения вида, или два последующих месяца, если продолжительность цветения больше 30 сут. Продолжительность цветения считали коррелирующей с осадками, если она коррелировала с одним или несколькими из этих параметров. Также было проанализировано влияние ГКС на продолжительность цветения. При анализе предыдущего вегетационного периода учитывались только САТ (°C) за период со среднесуточной температурой выше 10°C, количество осадков (мм) за период выше 10°C и ГКС предыдущего вегетационного периода. Учитывали виды с рядом фенологических наблюдений от 5 до 8 лет. Статистические расчеты проводили в программе R версии 4.1.0.

Номенклатура таксонов приведена по С.К. Черепанову [13]. Биоморфологическую и экологическую характеристику флористических групп осуществляли с использованием данных «Биологической флоры Крыма» В.Н. Голубева [14].

### Результаты

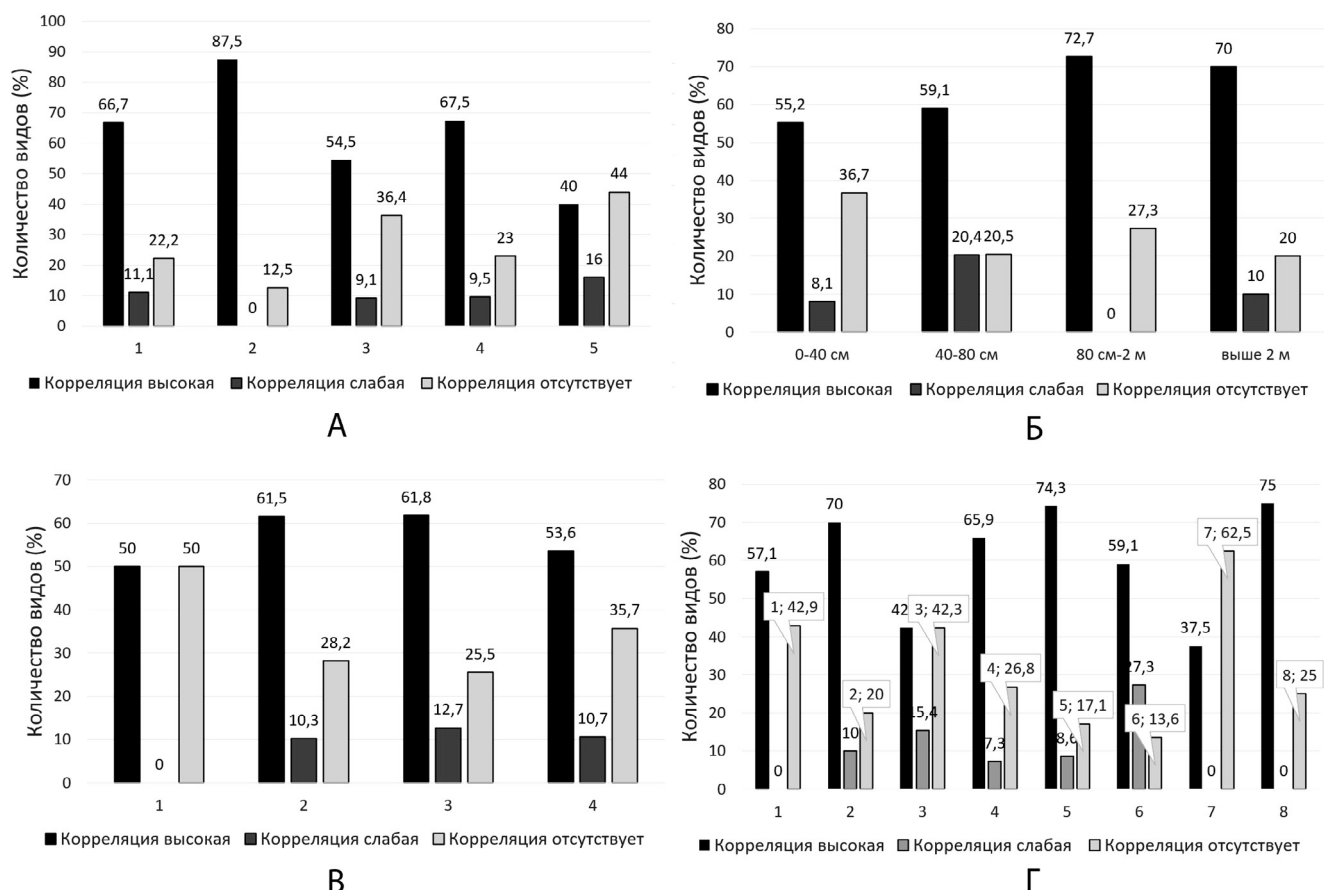
Для фенологических наблюдений было отобрано 152 вида растений. Из них: 74 (48,7%) относились к поликарпическим травам или многолетним монокарпикам; 50 (32,9%) – к однолетникам или двулетникам; 11 (7,2%) – к полукустарникам или полукустарничкам; 9 (5,9%) – к деревьям и 8 (5,3%) – к кустарникам и кустарничкам. Состав видов по вегетации оказался следующим: 56 (36,8%) – эфемеры и эфемероиды; 55 (36,2%) – летнезимнезеленые; 39 (25,7%) – летнезеленые и 2 (1,3%) – собственно вечнозеленые. По классу высоты побегов виды распределились следующим

образом: 87 (57,2%) имели высоту побегов до 40 см; 44 (28,9%) имели высоту побега от 40 до 80 см; 11 (7,2%) имели высоту побега от 80 см до 2 м и 10 (6,6%) имели побеги выше 2 м. По ритму цветения распределение видов было следующее: 14 (9,2%) – позднезимние и ранне-средневесенние; 11 (7,2%) – весенние; 26 (17,1%) – средне-поздневесенние; 41 (27%) – поздневесенние-раннелетние; 26 (17,1%) – ранне-среднелетние; 22 (14,5%) – летние; 8 (5,3%) – средне-позднелетние и 4 (2,6%) – позднелетне-осенние. Кроме того, изученные виды произрастали в следующих растительных сообществах: 88 (57,9%) – в кустарниковом сообществе; 42 (27,6%) – в петрофитной степи и 22 (14,5%) – в лесном сообществе.

Продолжительность цветения коррелировала с климатическими факторами у 89 (58,6%) видов растений. При этом климатические факторы текущего вегетационного периода оказывали влияние на цветение 71 вида, предыдущего вегетационного периода – на цветение 4 видов, обоих вегетационных периодов – на цветение 14 видов. Корреляция была заметной у 17 (11,2%) видов растений, и корреляция отсутствовала у 46 (30,2%) видов. Более всего подвержено влиянию климатических

факторов цветение деревьев и кустарников. В этой группе растений высокая корреляция наблюдалась соответственно у 66,7% и 88,5% видов (рис. 1А). Менее всего климатические факторы влияют на цветение двухлетников и однолетников (корреляция высокая – у 40%; корреляция отсутствует – у 44% видов). Такой же результат показал анализ видов по классу высоты побегов: чем выше растения, тем выше доля видов с высокой корреляцией (рис. 1Б).

Среди видов с различной биоморфой по вегетации более всего подвержено влиянию климата цветение летнезеленых и летне-зимнезеленых растений (высокая корреляция в этой группе наблюдалась у 61,5% и 61,8% соответственно). Хуже всего цветение коррелировало с климатическими факторами у эфемеров и эфемероидов: корреляция была высокой у 53,6% видов и корреляция отсутствовала у 35,7% видов (рис. 1В). Также климатические факторы по-разному влияют на виды, цветущие в разный период (рис. 1Г). Менее всего влиянию подвержены средне-позднелетние виды: в этой группе растений высокая корреляция отмечена у 37,5% видов, корреляция отсутствовала у 62,5% видов.



**Рис. 1.** Влияние климатических факторов на продолжительность цветения различных биоморф. А. Основные биоморфы: 1 – деревья; 2 – кустарники и кустарнички; 3 – полукустарники и полукустарнички; 4 – поликарпические травы или многолетние монокарпика; 5 – двухлетники, озимые или яровые однолетники. Б. Биоморфы по классу высоты побегов. В. Биоморфы по вегетации: 1 – собственно вечнозеленые; 2 – летнезеленые; 3 – летне-зимнезеленые; 4 – эфемеры и эфемероиды. Г. Биоморфы по ритму цветения: 1 – позднезимние и ранне-средневесенние; 2 – весенние; 3 – средне-поздневесенние; 4 – поздневесенние-раннелетние; 5 – ранне-среднелетние; 6 – летние; 7 – средне-позднелетние; 8 – позднелетне-осенние.

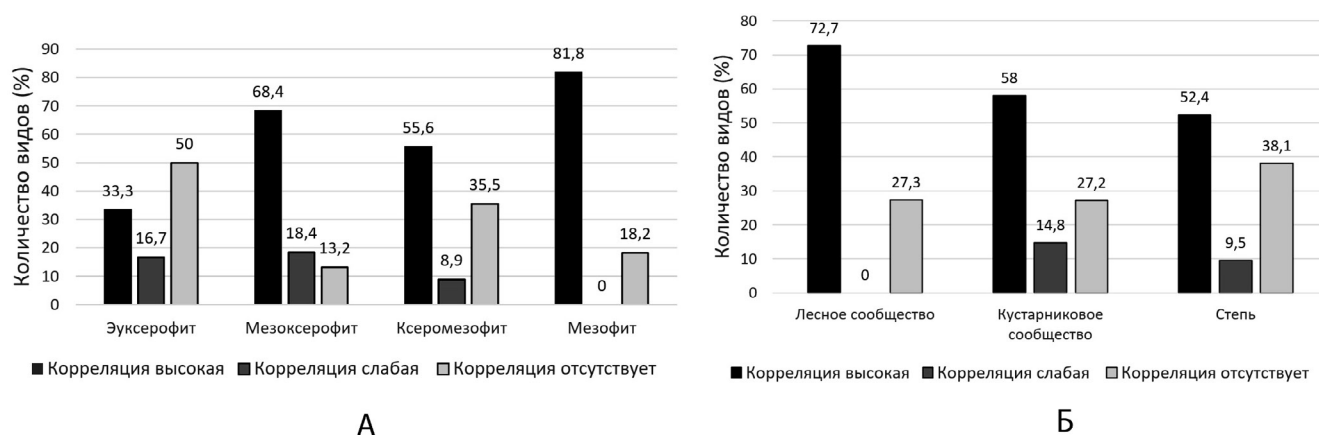


Рис. 2. Влияние климатических факторов на продолжительность цветения различных экоморф (А) и ценоморф (Б).

В категории видов с различной экоморфой по водному режиму больше всего климатические факторы влияли на цветение мезофитов (высокая корреляция отмечена у 81,8% видов). Менее всего влиянию подвержены эуксерофиты: высокая корреляция отмечена у 33,3% видов, корреляция отсутствовала у 50% видов (рис. 2А). Такие же результаты показал анализ видов по месту произрастания (рис. 2Б). В лесном сообществе произрастают виды с высокой корреляцией между климатическими факторами и продолжительностью цветения (72,7%), в степи доля таких видов меньше (52,4%).

Мы проследили, какие климатические параметры влияют на цветение растений в большей степени, а какие – в меньшей. Высокая корреляция между продолжительностью цветения и значениями температуры воздуха текущего вегетационного периода была обнаружена у 35 (41,2%) видов. Корреляция между продолжительностью цветения и количеством осадков обнаружена у 32 (37,7%) видов. Корреляция между продолжительностью цветения и обоими параметрами (а также ГКС) обнаружена у 18 (21,1%) видов.

В подавляющем большинстве случаев продолжительность цветения отрицательно коррелировала со значениями температуры воздуха. Лишь в некоторых случаях корреляция была положительной. К этой группе относятся следующие виды<sup>1</sup>: *Althaea cannabina* L. (САТ за период >10°C;  $r = 0,833$ ), *Crocus angustifolius* Weston (температура воздуха в период бутонизации;  $r = 0,850$ ), *Quercus pubescens* Willd. (температура воздуха в период бутонизации;  $r = 0,838$ ), *Acer campestre* L. (температура воздуха в период бутонизации;  $r = 0,731$ ), *Linum pallasianum* Schult. (температура воздуха в период бутонизации;  $r = 0,905$ ), *Scilla autumnalis* L. (САТ за период >10°C;  $r = 0,779$ ) и *Salvia tesquicola* Klok.

et Pobed. (температура воздуха в месяц начала цветения вида;  $r = 0,802$ ).

Продолжительность цветения видов в большинстве случаев положительно коррелировала с количеством осадков. Исключение составили следующие виды: *Inula germanica* L. (количество осадков в период бутонизации;  $r = -0,854$ ), *Cruciata taurica* (Pall. ex Willd.) Soo (количество осадков за период >10°C;  $r = -0,802$ ), *Galium biebersteinii* Ehrend. (количество осадков за год;  $r = -0,9$ ) и *Myosotis arvensis* (L.) Hill (количество осадков в период бутонизации;  $r = -0,812$ ).

ГКС оказывал влияние на продолжительность цветения у 9 видов растений. Чаще всего продолжительность цветения коррелировала с этим параметром положительно. Лишь в двух случаях была отмечена отрицательная корреляция: *Acer campestre* ( $r = -0,745$ ) и *Corydalis paczoskii* N. Busch ( $r = -0,838$ ).

В отличие от текущего вегетационного сезона, предыдущий вегетационный сезон оказывал незначительное влияние на продолжительность цветения: корреляция была отмечена у 18 (11,8%) видов. Из них у 13 (72,2%) видов продолжительность цветения коррелировала с ГКС и количеством осадков за период >10°C, у 5 (27,8%) видов отмечена корреляция с САТ за период >10°C (таблица). В первом случае корреляция была положительной, во втором – отрицательной.

### Обсуждение

Разные виды по-разному реагируют на изменение климата [4, 15]. В одних случаях изменения климатических условий могут влиять на продолжительность репродуктивных фаз бутонизации, цветения и плодоношения, как, например, было отмечено у однолетних и многолетних растений [2, 16]. В других случаях жизненный цикл может сохранять свою структуру и продолжительность, но сдвигаться во времени [17, 18]. В наших исследованиях мы затронули только продолжительность цветения видов, однако

<sup>1</sup> Здесь и далее в скобках приводится климатический параметр, который был проанализирован, и коэффициент ранговой корреляции Спирмена ( $r$ ).



влияние климатических факторов на даты бутонизации, появления первого цветка, окончания цветения также интересно и перспективно для дальнейшего изучения.

Малоизученным на сегодняшний день остается вопрос о том, какие именно климатические факторы влияют на цветение растений. Большинство исследователей отмечают, что основным фактором, оказывающим влияние на цветение, является температура воздуха [3, 19, 20]. Однако в наших исследованиях осадки играли не менее важную роль в сезонном развитии растений. Объяснением этому могут служить: 1) осадки в регионе исследования являются ограничивающим фактором для функционирования растений; 2) как отмечали Гордо и Сэнз [6], значение температуры для растений может быть переоценено, т.к. немногие исследователи оценивали влияние других факторов. Между тем, на цветение могут оказывать влияние фотопериод, биотические связи, структура растительных сообществ. Малоизученным остается также вопрос степени влияния температуры на поверхности почвы и влажности почвы на сроки и продолжительность цветения.

В наших исследованиях продолжительность цветения видов в подавляющем большинстве отрицательно коррелировала с температурой воздуха и положительно – с количеством осадков. Исследования других авторов показали как отрицательную корреляцию продолжительности цветения

с температурой воздуха [20, 21], так и положительную [22, 23]. В работах по изучению влияния количества осадков на продолжительность цветения корреляция всегда была положительной [23, 24].

Рассмотрим виды, у которых не выявлено влияние климатических факторов на продолжительность цветения. Самый высокий процент их был выявлен среди видов, цветущих в середине и конце лета, т.е. в экстремально жаркий период (рис. 1Г). Из этого наблюдения можно сделать вывод, что виды, наиболее адаптированные к произрастанию в данных условиях, менее всего подвержены влиянию климата. В пользу такого утверждения также говорят следующие факты: высокий процент видов с отсутствием корреляции отмечен среди эуксерофитов и видов, произрастающих в петрофитной степи; высокий процент видов, подверженных влиянию погодных условий, выявлен среди мезофитов и видов, произрастающих в лесном сообществе (рис. 2). Однако существует и другая версия, согласно которой весенние и зимние условия более подвержены колебаниям по сравнению с другими сезонами, и весенне-зимние виды более чувствительны к таким колебаниям [6, 25]. Именно поэтому многие исследователи при изучении влияния изменений климата на цветение растений ограничиваются, как правило, только весенними видами (как наиболее информативными) и исключительно датами появления первых цветков [4, 15, 26].

Таблица

Виды, продолжительность цветения которых коррелировала с климатическими факторами предыдущего вегетационного сезона

№ п/п	Виды	Климатические показатели		
		Сумма активных температур за период >10°C	Количество осадков за период >10°C	Гидротермический коэффициент Селянинова
1.	<i>Valerianella turgida</i>		$r = 0,829^*$	$r = 0,752^*$
2.	<i>Ajuga orientalis</i>		$r = 0,775^*$	$r = 0,762^*$
3.	<i>Cotoneaster tauricus</i>	$r = -0,799^*$		
4.	<i>Trifolium leucanthum</i>		$r = 0,900^*$	$r = 0,975^*$
5.	<i>Scorzonera mollis</i>		$r = 0,900^*$	$r = 0,900^*$
6.	<i>Ranunculus illyricus</i>		$r = 0,853^*$	$r = 0,926^*$
7.	<i>Jurinea sordida</i>		$r = 0,667^{**}$	$r = 0,699^*$
8.	<i>Noccaea praecox</i>		$r = 0,790^*$	$r = 0,770^*$
9.	<i>Galium biebersteinii</i>		$r = 0,900^*$	$r = 0,872^*$
10.	<i>Plantago lanceolata</i>		$r = 0,929^*$	$r = 0,901^*$
11.	<i>Ornithogalum flavescens</i>	$r = -0,841^*$		
12.	<i>Reseda lutea</i>	$r = -0,841^*$		
13.	<i>Arabis sagittata</i>	$r = -0,943^*$		
14.	<i>Echium russicum</i>		$r = 0,975^*$	$r = 1,000^*$
15.	<i>Torilis arvensis</i>	$r = -0,964^*$		
16.	<i>Microthlaspi perfoliatum</i>		$r = 0,731^*$	$r = 0,752^*$
17.	<i>Cerastium brachypetalum</i>		$r = 0,810^*$	$r = 0,771^*$
18.	<i>Lamium purpureum</i>		$r = 0,833^*$	$r = 0,819^*$

Примечание: В таблице указан коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r): \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,1$ .

Среди видов с различной биоморфой по вегетации самый высокий процент видов с отсутствием корреляции был отмечен у эфемеров и эфемероидов (рис. 1В); вечнозеленые растения мы не учитывали, т.к. эта группа включает всего два вида. На наш взгляд, эфемеры и эфемероиды следуют иной стратегии жизни. На неблагоприятные погодные условия они реагируют отсутствием цветения, прекращением роста вплоть до перехода в состояние вторичного покоя. В неблагоприятные годы цветение эфемеров и эфемероидов отсутствовало. Эти годы в анализе не участвовали, и корреляция по фенологическим рядам относительно благополучных лет отмечена не была. Таким образом, влияние климатических факторов на такие растения можно выявить, учитывая не только продолжительность цветения, но и факт отсутствия цветения.

Существует большое количество данных о том, что влияние климата на физиологию растений проявляется с задержкой [5, 6]. Тем не менее, наши исследования показали слабую зависимость продолжительности цветения от климатических факторов предыдущего вегетационного периода. Она наблюдалась у весенне- и ранне-летнецветущих видов, у которых закладка и формирование цветочных почек, а также созревание семян приходится на жаркий летний период. Из многолетников к таким видам, например, относятся: *Ajuga orientalis* L., *Scorzonera mollis* Bieb., *Ranunculus illyricus* L., *Jurinea sordida* Stev., *Noccaea praecox* (Wulf.) F.K. Mey. и др. Из однолетников: *Valerianella turgida* (Stev.) Betsche, *Trifolium leucanthum* Bieb., *Torilis arvensis* (Huds.) Link, *Microthlaspi perfoliatum* (L.) F.K. Mey., *Cerastium brachypetalum* Desp. ex. Pers., *Lamium purpureum* L. (таблица). Продолжительность цветения напрямую зависит от обилия цветков и численности растений. Таким образом, погодные условия пре-

дыдущего вегетационного периода могут опосредовано влиять на продолжительность цветения: чем больше будет заложено цветочных почек (или созреет семян у видов-однолетников), тем длиннее будет продолжительность цветения вида.

### Заключение

Таким образом, корреляционный анализ между продолжительностью цветения видов сосудистых растений, произрастающих в Карадагском природном заповеднике, и климатическими факторами выявил высокую зависимость у 89 (58,6%) видов из 152 исследованных. Температура и осадки текущего вегетационного периода на продолжительность цветения оказывали примерно одинаковое влияние: у 35 видов была обнаружена высокая корреляция между продолжительностью цветения и значениями температуры воздуха, у 32 видов – между продолжительностью цветения и количеством осадков, у 18 видов было зафиксировано влияние обоих параметров. При этом чаще всего продолжительность цветения отрицательно коррелировала со значениями температуры воздуха и положительно – с количеством осадков. Наиболее чувствительные к климатическим факторам оказались мезофиты, произрастающие в лесных сообществах, наименее чувствительные – эуксерофиты, произрастающие в степных сообществах. Климатические показатели предыдущего вегетационного периода оказывают незначительное влияние на продолжительность цветения видов.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН, № 121032300023-7. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена без использования животных и без привлечения людей в качестве испытуемых.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPCC, 2022: Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / Eds. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama. Cambridge; N.Y.: Cambridge Univ. Press, 2022. 3056 pp.
2. Craufurd P.Q., Wheeler T.R. Climate change and the flowering time of annual crops // J. Exp. Bot. 2009. Vol. 60. N 9. P. 2529–2539.
3. Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern // Glob. Change Biol. 2006. Vol. 12. N 10. P. 1969–1976.
4. Harper G., Morris L. Flowering and climate change // Sibbaldia. 2007. N. 5. P. 25–42.
5. Miller-Rushing A.J., Primack R.B. Global warming and flowering times in Thoreau's Concord: a community perspective // Ecology. 2008. Vol. 89. N 2. P. 332–341.
6. Gordo O., Sanz J.J. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems // Glob. Change Biol. 2010. Vol. 16. N 3. P. 1082–1106.
7. Richardson A.D., Keenan T.F., Migliavacca M., Ryu Y., Sonnentag O., Toomey M. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system // Agric. For. Meteorol. 2013. Vol. 169. P. 156–173.
8. Memmott J., Craze P.G., Waser N.M., Price M.V. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions // Ecol. Lett. 2007. Vol. 10. N 8. P. 710–717.
9. Tooke F., Battey N.H. Temperate flowering phenology // J. Exp. Bot. 2010. Vol. 61. N 11. P. 2853–2862.

10. Nagahama A., Kubota Y., Satake A. Climate warming shortens flowering duration: a comprehensive assessment of plant phenological responses based on gene expression analyses and mathematical modeling // *Ecol. Res.* 2018. Vol. 33. N 5. P. 1059–1068.
11. Dorji T., Hopping K.A., Meng F., Wang S., Jiang L., Klein J.A. Impacts of climate change on flowering phenology and production in alpine plants: The importance of end of flowering // *Agric. Ecosyst. Environ.* 2020. Vol. 291: 106795.
12. Sparks T. H., Menzel A., Stenseth N.C. European cooperation in plant phenology // *Clim. Res.* 2009. Vol. 39. N 3. P. 175–177.
13. Czerepanov S.K. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR). Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995. 516 pp.
14. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма. Ялта: НБС–ННЦ, 1996. 120 с.
15. Zheng J.Y., Ge Q.S., Hao Z.X., Wang W.C. Spring phenophases in recent decades over eastern China and its possible link to climate changes // *Clim. Change.* 2006. Vol. 77. N 3. P. 449–462.
16. Sherry R.A., Zhou X., Gu.S., Arnone J.A., Schimel D.S., Verburg P.S., Wallace L.L., Luo Y. Divergence of reproductive phenology under climate warming // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2007. Vol. 104. N 1. P. 198–202.
17. Post E.S., Pedersen C., Wilmers C.C., Forchhammer M.C. Phenological sequences reveal aggregate life history response to climate warming // *Ecology.* 2008. Vol. 89. N 2. P. 363–370.
18. Steltzer H., Post E. Seasons and life cycles // *Science.* 2009. Vol. 324. N 5929. P. 886–887.
19. Sparks T.H., Jeffree E.P., Jeffree C.E. An examination of the relationship between flowering times and temperatures at the national scale using long-term phenological records from the UK // *Int. J. Biometeorol.* 2000. Vol. 44. N 2. P. 82–87.
20. Bock A., Sparks T.H., Estrella N., Jee N., Casebow A., Schunk C., Leuchner M., Menzel A. Changes in first flowering dates and flowering duration of 232 plant species on the island of Guernsey // *Glob. Change Biol.* 2014. Vol. 20. N 11. P. 3508–3519.
21. Зыкова В.К., Клименко З.К. Продолжительность цветения сортов сирени коллекции Никитского ботанического сада // *Бюллетень ГНБС.* 2019. № 130. С. 69–72.
22. Zhou Z., Zhang K., Sun Z., Liu Yi., Zhang Yu., Lei L., Li Yi., Wang D., Hu M., Wang Sh., Lu Q., Cui Yu., Zhong M., Han Sh., Miao Yu. Lengthened flowering season under climate warming: evidence from manipulative experiments // *Agric. For. Meteorol.* 2022. Vol. 312: 108713.
23. Зубкова Н.В. Особенности цветения некоторых видов и форм рода *Clematis* L. Коллекции Никитского ботанического сада // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Хим. Биол. Экол.* 2018. Т. 18. № 1. С. 60–64.
24. Вострикова Т.В., Калаев В.Н., Воронин А.А., Преображенский А.П., Львович И.Я. Влияние природно-климатических факторов на фенологические показатели петунии гибридной // *Вест. ВГТУ.* 2011. Т. 7. № 3. С. 56–60.
25. Schwartz M.D., Ahas R., Aasa A. Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere // *Glob. Change Biol.* 2006. Vol. 12. N 2. P. 343–351.
26. Badeck F., Bondeau A., Böttcher K., Doktor D., Lucht W., Schaber J., Sitch, S.A. Responses of spring phenology to climate change // *New Phytol.* 2004. Vol. 162. N 2. P. 295–309.

Поступила в редакцию 25.08.2022

После доработки 14.10.2022

Принята в печать 11.11.2022

## RESEARCH ARTICLE

# Impact of climatic factors on the duration of species flowering in the Karadag Nature Reserve

V.Ju. Letukhova\* , A.V. Zuev, I.L. Potapenko

T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve, Russian Academy of Sciences,  
24 Nauki str., Kurortnoje, Feodosia, Crimea, 298188, Russia

\*e-mail: letukhova@gmail.com

The phenological responses of plants to changing weather conditions are very strong and can serve as an indicator of global climate change. If we understand how individual species respond to changing conditions, we can represent how ecosystems will change. The aim of this study was to analyze the exposure of climatic factors (air temperature and precipitation) on the flowering duration of the wild vascular plants species in the Karadag Nature Reserve (Crimea). In general, 152 species were taken into account with a number of phenological observations from 5 to 8 years. Correlation analysis between the flowering duration and the climatic parameters revealed a significant response in 89 (58.6%) species. Moreover, the climatic factors of the current vegetative season impacted 71 species flowering, previous vegetative season impacted 4 species flowering, and both vegetative seasons impacted 14 species flowering. Air temperature and precipitation equally impacted the flowering duration: air temperature impacted 35 (41.2%) species flowering; precipitation impacted 32 (37.7%) species flowering; both factors impacted 18

(21.1%) species flowering. The flowering duration mostly was negatively correlated with air temperature values and positively with precipitation amount. Mesophytes and the forest community species were the most sensitive to the climatic factors; euxerophytes and the steppe community species were the least sensitive to the climatic factors.

**Keywords:** *climate influence, vascular plants, flowering phenology, monitoring, Karadag Reserve, Crimea.*

**Funding:** The research was funded by the state assignment of T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS, project number 121032300023-7.

#### Сведения об авторах

*Летухова Виктория Юрьевна* – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга КНС – ПЗ РАН – филиала ФИЦ ИнБЮМ. Тел.: 8-36562-26-212; e-mail: letukhova@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9740-0320>.

*Зуев Александр Васильевич* – инженер отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга КНС – ПЗ РАН – филиала ФИЦ ИнБЮМ. Тел.: 8-36562-26-212; e-mail: lizaveta-zueva@mail.ru

*Потапенко Ирина Леонидовна* – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга КНС – ПЗ РАН – филиала ФИЦ ИнБЮМ. Тел.: 8-36562-26-212; e-mail: ira\_potapenko@mail.ru