

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДАТЫ МАССОВОГО ЦВЕТЕНИЯ *BULBOCODIUM VERSICOLOR* (MELANTHIACEAE) НА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ГРАНИЦЕ АРЕАЛА

С. С. Шинкаренко 

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Россия
e-mail: shinkarenkos@yrfanc.ru

Поступила: 27.03.2022. Исправлена: 10.07.2022. Принята к опубликованию: 12.07.2022.

В условиях климатических изменений особенную важность имеют фенологические исследования растительности. Большая часть существующих работ выполняется на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), сети фенологических станций, сельскохозяйственных землях, в питомниках и ботанических садах. Многочисленные фенологические исследования по данным дистанционного зондирования не учитывают видовое разнообразие растительного покрова. Целью данной работы является определение закономерностей наступления сроков массового цветения охраняемого вида *Bulbocodium versicolor* на крайнем юго-востоке ареала. Исследованная популяция расположена в окрестностях Волгограда, поэтому доступна для обследований, но в то же время находится под постоянным антропогенным прессингом. Понимание фенологических особенностей вида и закономерностей наступления даты массового цветения (периода наибольшей уязвимости) позволят организовать охрану популяции в этот период. Основой для исследования послужили данные о датах начала массового цветения, полученные в ходе обследований в 2007–2020 гг. с возможной ошибкой 2–7 дней, а также архив метеоданных по метеостанции Волгоград. Средняя дата начала массового цветения 24 марта \pm 12 дней. Диапазон самой ранней и самой поздней дат превышает месяц. Установлена устойчивая статистически значимая корреляционная связь даты начала массового цветения и даты разрушения снежного покрова, дат устойчивого перехода максимальной температуры воздуха через 0°C и среднесуточной температуры через 0°C и 3°C. В период 2007–2020 гг. не выявлено статистически значимых трендов ни дат массового цветения, ни дат основных метеорологических явлений. Практически ежегодно после начала массового цветения случаются заморозки на почве и в воздухе, а также регулярно бывают снегопады. Это может быть одним из факторов меньшего семенного возобновления данной популяции по сравнению с более северными, поскольку понижение температуры во время цветения способствует депрессивному состоянию растений.

Ключевые слова: *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor*, брандушка разноцветная, Волгоградская область, изменение климата, Нижнее Поволжье, фенология

Введение

Климатические изменения определяют состояние ландшафтов. Одним из первых показателей климатических изменений является смещение дат фенологических фаз растений (Иоуче, 2022). Сроки наступления фенофаз растений очень важны для успешного развития и размножения растений. Поэтому изучение закономерностей изменения дат наступления фенофаз под влиянием различных факторов очень важно для сохранения редких видов (Willis et al., 2017; Oskay, 2020). Фенология является одним из ключевых направлений исследований в области охраны природы. Фенологические особенности наряду с морфологическими и физиологическими являются важными индивидуальными признаками видов растений, которые могут использоваться для их сохранения (Álvarez-Yépez et al.,

2019). В 2010 г. фенология была включена в список основных переменных биоразнообразия (Essential Biodiversity Variables) как «измерение, необходимое для изучения, отчетности и управления изменениями биоразнообразия» (Pereira et al., 2013). С развитием методов моделирования, обработки больших данных, комплексного анализа данных натуральных наблюдений, гербарных коллекций, фотографий и съемки беспилотными летательными аппаратами роль фенологических исследований в последние годы существенно возрастает (Morellato et al., 2016; Ettinger et al., 2022).

Знание закономерностей повторяющихся событий жизненного цикла редких видов позволяет управлять мерами по их сохранению, изучать влияние природно-антропогенных факторов, например, инвазий, пожаров и др. (Morellato et al., 2016). Так, исследование фенологических осо-

бенностей редкой в США орхидеи *Platanthera praeclara* Sheviak & M.L.Bowles позволило установить, что предписанные выжигания инвазивного *Bromus inermis* Leyss. проводятся в период развития надземных органов этой орхидеи. Таким образом, палы не только уничтожали *B. inermis*, но и повреждали побеги *P. praeclara*. В результате исследований были разработаны рекомендации по срокам предписанных выжиганий, учитывающих даты наступления фенофаз *P. praeclara* (Biederman et al., 2014).

Большая часть фенологических исследований растений выполняется в питомниках, ботанических садах, парках, на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), а также на специализированных фенологических станциях или добровольцами (например, Кокорин и др., 2001; Зубцова и др., 2002; Баранова, Иванисова, 2016; Razanajatovo et al., 2018; Герасимович, 2019; Ушаков, Недосекина, 2019; Димитриев, Рахматуллин, 2020; Зорина и др., 2020; Kirillova & Kirillov, 2020; Шихова, Соловьев, 2021). Значительная доля фенологических исследований основывается на данных дистанционного зондирования Земли, где фиксируется наступление дат начала и окончания вегетационного сезона, максимума вегетации без учета видового состава растительности (Zhang et al., 2015; Миклашевич, Барталев, 2016; Шинкаренко, Барталев, 2020; Wu et al., 2021; An et al., 2022; Zhu et al., 2022).

Целью работы является определение закономерностей наступления сроков массового цветения охраняемого вида *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. на крайнем юго-востоке ареала. Для этого решались следующие задачи: 1) установление связи даты начала массового цветения с датами основных метеорологических явлений; 2) определение пороговых минимальных, максимальных или средних суточных температур воздуха и поверхности почв перед началом массового цветения; 3) обоснование и выбор из существующих методов моделирования дат наступления фенофаз по рядам метеорологических данных или данным дистанционного зондирования Земли; 4) анализ динамики наступления дат начала массового цветения.

Материал и методы

Исследуемый вид

Bulbocodium versicolor (брандушка разноцветная, сем. Melanthiaceae) – редкий вид,

включен в Красную книгу Российской Федерации (Цвелев, 2008). Также охраняется на территории Украины, Румынии, Венгрии, Молдавии, Сербии и Италии (Menghini & Bencivenga, 1974; Menghini & Mincigrucchi, 1975; Badarau et al., 1997; Csapody, 1982; Wetschnig, 1992; Oltean et al., 1994; Conti et al., 1997; Мельник и др., 2006; Melnik et al., 2006). Согласно международной базе данных POWO, принятым названием является *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (Ker Gawl.) K.Perss. В данной работе используется название *Bulbocodium versicolor* согласно Красной книге Российской Федерации (Цвелев, 2008). В России вид распространен в Белгородской, Волгоградской, Воронежской, Курской, Липецкой, Ростовской, Саратовской и Тамбовской областях (Цвелев, 2008; Гусев, 2014; Петрова и др., 2015). Южная граница ареала в России проходит примерно по линии Волго-Донского судоходного канала (Kulikova et al., 2019; Kashin et al., 2020).

Bulbocodium versicolor имеет дизъюнктивный ареал. Основной лимитирующий фактор – распашка степей. Поэтому популяции вида сохранились, в основном, по балкам, в долинах рек, на солонцеватых почвах, т.к. вид выдерживает засоление (Баранова, Сагалаев, 2017). Охраняется на территории участка «Ямская степь» заповедника «Белогорье» в Белгородской области (Гусев, 2014), в федеральном заказнике «Каменная степь» в Воронежской области, а также на некоторых региональных ООПТ (Цвелев, 2008). Многие авторы отмечают недостаточную изученность экологических особенностей вида как препятствие для эффективной охраны (Мельник и др., 2007; Kulikova et al., 2019). Большая часть исследований посвящена распространению или отдельным экологическим аспектам, например, онтогенетической структуре, жизнеспособности и видовому составу популяций (Агафонов и др., 2009; Петрова и др., 2015; Куликова и др., 2017; Кашин и др., 2020; Богослов и др., 2021). Фенологические особенности *B. versicolor* практически не изучены, несмотря на наличие популяций на федеральных ООПТ. Отсутствие подобных исследований за пределами ООПТ может быть связано с очень ранним развитием и цветением *B. versicolor* – в марте или начале апреля.

Одна из популяций *B. versicolor* в южной части ареала расположена в окрестностях г.

Волгоград (верховья балки Отрада), поэтому практически постоянно доступна для исследований. Близость к крупному городу также делает популяцию очень уязвимой из-за антропогенной нагрузки: выкапывания луковиц, срывания цветков и рекреации (Баранова, Сагалаев, 2017). Кроме разрушения местообитаний из-за распашки, подобное негативное влияние антропогенной нагрузки характерно и в других частях ареала (Агафонов и др., 2009; Куликова, Кашин, 2019). Популяция *B. versicolor* в Нижнем Поволжье является одной из наиболее уязвимых на всем протяжении ареала вида (Куликова, 2020). Данное местообитание не входит в состав ООПТ и нуждается в охране. Значения индекса восстановления этой популяции очень низкие, что свидетельствует о ее критическом состоянии (Кашин и др., 2020). Знание фенологических особенностей позволит организовать меры по охране вида в период массового цветения, когда уничтожение растений наиболее интенсивно.

Методы исследования

Исследование основано на анализе дат массового цветения *B. versicolor* в балке Отрада в окрестностях г. Волгоград (рис. 1) в 2007–2020 гг. Популяция расположена на макросклоне северо-западной экспозиции, осложненном оврагами и другими эрозионными формами. Почвенный покров представлен солонцами в комплексе со светло-каштановыми почвами. Плакорные участки вокруг балки были распашаны, на противоположном склоне созданы массивы древесно-кустарниковых насаждений. Поэтому можно предполагать более широкое распространение вида в окрестностях Волгограда в прошлом. Участок подвержен умеренному выпасу овец и коров, в отдельные годы (например, 2005, 2011 гг.) здесь отмечались летние ландшафтные пожары (Шинкаренко, 2019; Шинкаренко, Берденгалиева, 2019).

За массовое цветение принималась дата, начиная с которой более половины всех экземпляров находилось в фазе цветения (Бейдеман, 1974; Минин и др., 2020). Обследование проводилось 1–3 раза в неделю после схода снега. Поэтому при наступлении массового цветения в период между обследованиями ошибка определения даты в сторону увеличения составляла в разные годы от двух до семи дней, а в среднем – четыре дня. Определение

доли цветущих экземпляров осуществлялось на 20 пробных площадках 100 м² каждая в середине дня, т.к. доля раскрытых цветков в это время максимальна (Солнышкина, 2018).

Особенностью вегетации *B. versicolor* является одновременное развитие цветка и листьев практически сразу после появления всходов (Куликова и др., 2017; Куликова, 2020) (рис. 2). Начало цветения наступает неравномерно, в зависимости от микро- и мезорельефа: в понижениях растения зацветают позже из-за более позднего схода снега и переувлажнения. Поэтому наиболее выраженной является фаза массового цветения, тем более что в популяции преобладают генеративные особи (Кашин и др., 2020).

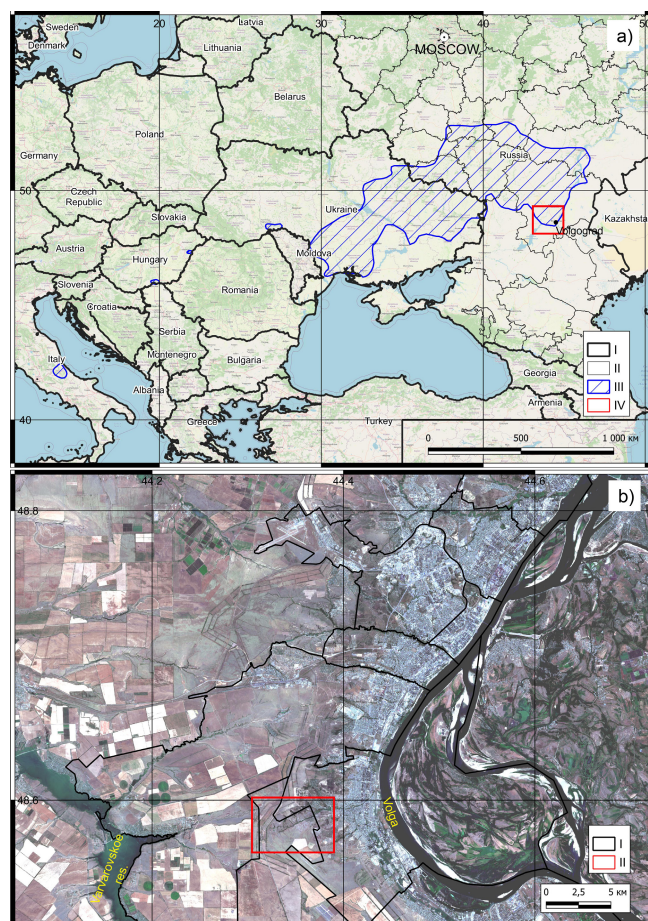


Рис. 1. Схема расположения ареала *Bulbocodium versicolor* (a: I – государственные границы, II – границы регионов России, III – примерный ареал *B. versicolor*, IV – район исследований) и района исследований в окрестностях Волгограда (b: I – границы г. Волгоград, II – местоположение исследованной популяции *B. versicolor*).

Fig. 1. Map of *Bulbocodium versicolor* natural range (a: I – state borders, II – borders of Russian regions, III – approximate *B. versicolor* range, IV – study area) and the study area in the vicinity of the city Volgograd (b: I – borders of the Volgograd city, II – location of the studied *B. versicolor* population).



Рис. 2. Стадии развития *Bulbocodium versicolor* и пример снегопада во время массового цветения (a, b: 16.03.2013; c, d, e: 22.03.2013; f: 27.03.2013) в окрестностях Волгограда.

Fig. 2. *Bulbocodium versicolor* stages of development, and an example of snowfall during mass flowering (a, b: 16.03.2013; c, d, e: 22.03.2013; f: 27.03.2013) in the vicinity of the city Volgograd.

Существует достаточно много подходов для расчетов фенодат стадий развития растений, большинство из которых базируется на анализе температур (Ushakov & Nedosekina, 2017). При этом используются как пороговые значения температуры воздуха или почв, так и суммы температур, суммы эффективных (превышающих некоторое пороговое значение) температур (Sanderson & Pears, 1913; Blunk, 1923; Переведенцев и др., 2008; Ushakov & Nedosekina, 2017; Ушаков, Недосекина, 2019; Минин и др., 2020; Bai et al., 2022), гидротермический коэффициент (Kirillova & Kirillov, 2020). Все эти подходы требуют знания пороговой температуры наступления фенологической фазы, либо даты начала развития (Arnold,

1959; Yang et al., 1995). Также широкое распространение получили методы, основанные на линейной регрессии скорости развития организмов по температуре, но применяются они, в основном, в контролируемых условиях (Ushakov & Nedosekina, 2017). Данное исследование основано на методе расчета наименьшего отклонения и стандартного отклонения в количестве дней развития организма (Magoon & Culpepper, 1932; Nuttonson, 1958), показавшем высокое сходство с результатами использования других методов, в том числе метода коэффициента регрессии между параметрами наступления фенодат и экзаменуемыми температурами и длительностями периода развития (Ushakov & Nedosekina, 2017).

Интерполяция наступления даты массового цветения выполнялась в зависимости от значения пороговой температуры и длительности периода, в течение которого она была превышена. Для каждой даты определялось количество предыдущих дней с экзаменуемой температурой выше пороговых значений от -5°C до 20°C с шагом в 1°C . Такой подход довольно широко применяется в фенологических исследованиях (Magoon & Culpepper, 1932; Nuttonson, 1958; Yang et al., 1995; Ushakov & Nedosekina, 2017). После этого определялась комбинация пороговой температуры и продолжительности периода с температурами выше пороговой на основе минимизации разницы расчетных дат от фактических и стандартного отклонения этой разницы:

$$\Delta D = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta D_i}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N (D_i - D_{fi})}{N} \rightarrow 0, \quad \sigma \Delta D \rightarrow 0$$

где ΔD – среднее значение разницы фактических и расчетных дат цветения, D_i – расчетное значение даты цветения в i -м году (первый день, перед которым в течение заданного периода наблюдается температура выше заданной), D_{fi} – фактическая дата цветения в i -м году, N – количество лет наблюдений, $\sigma \Delta D$ – стандартное отклонение разницы расчетной и фактической дат цветения.

Также даты начала массового цветения *B. versicolor* связывались с датами наступления различных метеорологических характеристик согласно Минину и др. (2018) и датами начала вегетации по данным Normalised Difference Vegetation Index (NDVI). Последние определялись по данным дистанционного зондирования Земли из космоса на основе сезонной динамики широко распространенного в исследованиях растительного покрова вегетационного индекса NDVI (Huang et al., 2021). Ежедневные данные NDVI разрешения 250 м по данным MODIS (Terra) с устраненным влиянием облачности получены с помощью сервиса «Vegeta-Science» (Loupian et al., 2022), функционирующего в рамках Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019). За даты начала вегетации принимался день, когда достигался двойной (Reed et al., 1994) или максимальный (Миклашевич, Баргалева, 2016) прирост индекса NDVI. Для удобства расчетов дата заменялась на соответствующий порядковый номер дня от начала года. Обработка данных выполнялась в программе Microsoft Office Excel. Значимость коэффициентов корреляции Пирсона и угловых коэффициентов линейных трендов определялась

по критерию Стьюдента. Даты даны в формате «Дата \pm стандартное отклонение».

Основой исследования послужили данные о датах начала массового цветения и метеоданные о снежном покрове, среднесуточных, суточных максимальных и минимальных температурах воздуха по метеостанции г. Волгоград. Наблюдения температуры почвы на разных глубинах здесь не ведутся. Поэтому использовались только температуры поверхности почвы. Метеоданные получены с помощью сервиса АИСОРИ (Булыгина и др., 2004). Расстояние от территории исследований до метеостанции составляет примерно 20 км. Из-за этого температуры и характеристики снежного покрова в окрестностях метеостанции и в месте проведения исследований могут значительно отличаться. Согласно руководящему документу Росгидромета (РД 52.33.725-2010), дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через термический рубеж в сторону повышения (в первом полугодии) – это первый день периода, сумма положительных отклонений которого (от соответствующего предела) превышает сумму отрицательных отклонений любого из последующих периодов с отрицательными отклонениями. Данное правило применяется также при расчетах дат устойчивых переходов экстремальных (максимальной и минимальной) температур воздуха (Минин и др., 2020).

Результаты

Средняя дата начала массового цветения *Bulbocodium versicolor* за период исследований 24 марта ± 12 дней, что примерно соответствует дате перехода среднесуточных температур через рубеж 5°C – 29 марта ± 12 дней и точно соответствует дате перехода через 4°C – 24 марта ± 10 дней. Самое раннее массовое цветение отмечено в 2020 г. (2 марта), а самое позднее – в 2011 г. (9 апреля). Таким образом, амплитуда даты массового цветения превышает месяц (рис. 3а, табл. 1). Наиболее тесная корреляционная связь наблюдается между датами массового цветения и датой устойчивого перехода максимума температуры воздуха через рубеж 0°C (начало постоянных оттепелей, $r = 0.91$), а также датами перехода среднесуточных температур через 0°C и 3°C , датой разрушения устойчивого снежного покрова ($r = 0.81$, $r = 0.76$ и $r = 0.87$, соответственно) и датой перехода минимальных суточных температур через 0°C ($r = 0.69$). За период 2007–2020 гг. не отмечено значимых линейных трендов ни одного из показателей, в том числе даты начала массового цветения.

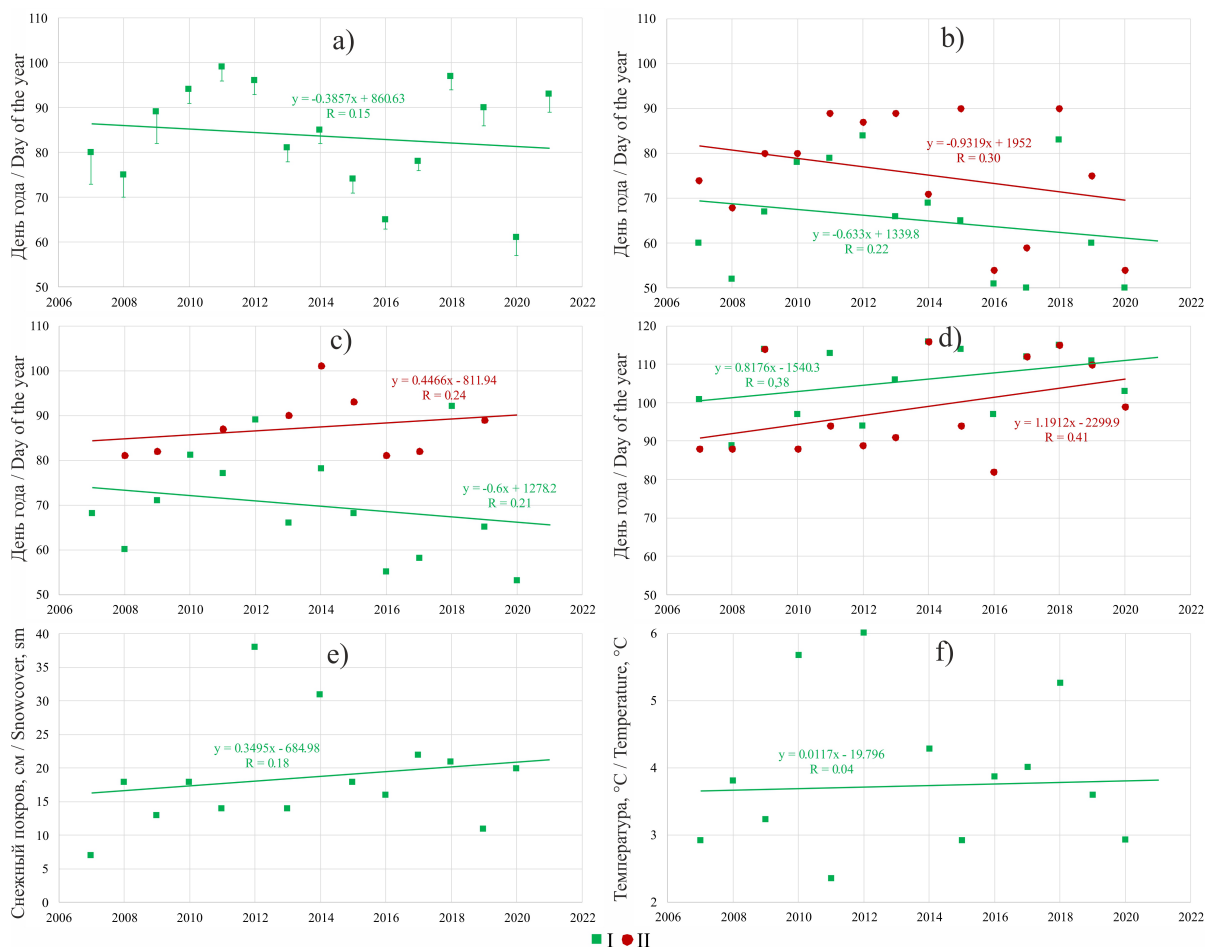


Рис. 3. Динамика дат массового цветения *Bulbocodium versicolor* в окрестностях Волгограда (а), перехода температур воздуха через 0°C (b, I) и через 3°C (b, II), полного схода снега (с, I), последнего снегопада (с, II), последнего заморозка на почве (d, I), последнего заморозка в воздухе (d, II), максимальной высоты снежного покрова (е) и средних температур воздуха за период от даты схода снежного покрова до даты массового цветения (f) по метеостанции в Волгограде.

Fig. 3. Dynamics of dates of mass flowering of *Bulbocodium versicolor* in the vicinity of the city Volgograd (a), transition of air temperatures through 0°C (b, I) and through 3°C (b, II), complete melting of snow (c, I), last snowfall (c, II), last ground frost (d, I), last air frost (d, II), maximum snow depth (e), and the mean air temperature from the date of snow cover to the date of mass flowering (f).

Показатели корреляции дат наступления массового цветения и температур за период после полного разрушения снежного покрова показаны в табл. 2. Здесь отмечается наиболее сильная связь даты начала массового цветения с максимальными и средними положительными среднесуточными температурами воздуха ($r = 0.73$, $r = 0.63$, соответственно) и почвы ($r = 0.67$, $r = 0.64$, соответственно) за период после схода снега. Положительная связь свидетельствует о том, что чем позже дата цветения, тем больше вероятность более высоких максимальных температур воздуха в связи с повышением угла солнца над горизонтом. Также обнаружена заметная положительная корреляционная связь между датой массового цветения и суммой положительных минимальных температур воздуха. Поздняя весна с недостаточными для массового цветения поло-

жительными температурами приводит к более поздним датам наступления этого явления, в то время как сумма температур увеличивается. По этой причине суммы температур в данной работе далее не рассматриваются.

В период массового цветения *B. versicolor* регулярно происходят понижение температуры, заморозки и снегопады (рис. 3c,d). Средняя дата последнего заморозка воздуха 9 апреля ± 12 дней, а на почве – 16 апреля ± 9 дней. При этом в период 2013–2016 гг. ежегодно были снегопады через 1–2 недели после начала массового цветения.

Результат моделирования даты наступления массового цветения на основе подбора пороговых температур и длительности периода, в течение которого температуры были выше пороговых, представлены на рис. 4. Минимальная разница модельных и фактических значений

наблюдается при превышении максимальных суточных температур почвы 9–10°C в течение 8 дней или при превышении максимальных суточных температур воздуха 6–8°C в течение 6–8 дней. Минимизация разницы модельной и фактической дат и стандартного отклонения этой разницы позволила получить даты наступления массового цветения ± 5 дней, что почти соответствует точности определения фактической даты начала массового цветения. Это 8 дней с максимальной температурой поверхности почвы 9°C или 6 дней с максимальной температурой воздуха более 8°C. Например, в 2021 г. массовое цветение по показателям максимальной температуры воздуха должно было наступить 4 апреля, а фактически отмечено 3 апреля.

Использование минимальных суточных температур не дало адекватных результатов.

Для среднесуточных температур воздуха и почв даты наступления массового цветения ± 4 дня соответствуют первому дню после 6 дней с температурой выше 5°C. В дальнейшем использовались только максимальные суточные температуры, поскольку коэффициент корреляции фактических и расчетных дат по этим показателям выше, чем по среднесуточным ($r = 0.91$ и $r = 0.84$ против $r = 0.93$ и $r = 0.74$ для температур почвы и воздуха, соответственно: рис. 5). При определении даты начала массового цветения по максимальным суточным температурам воздуха точность составила 73% (11 из 15 дат) по сравнению с фактическими датами с учетом ошибки их определения. Для максимальных температур почвы этот показатель составил 60% (9 из 15 дат).

Таблица 1. Даты метеорологических явлений по метеостанции в Волгограде и коэффициенты корреляции с датами массового цветения *B. versicolor* в окрестностях Волгограда

Table 1. Dates of meteorological phenomena and correlation coefficients with dates of *Bulbocodium versicolor* mass flowering in the vicinity of the city Volgograd

Метеорологические явления Meteorological phenomena	Даты метеорологических явлений Meteorological phenomenon dates				
	Среднее Mean	Стандартное отклонение Standard deviation	Минимум Minimum	Максимум Maximum	r
Массовое цветение Flowering	25.03	12	05.03	09.04	–
Переход температуры воздуха через рубеж 0°C Steady transition of daily average air temperature above 0°C	06.03	12	19.02	01.04	0.88*
Переход температуры воздуха через рубеж 3°C Steady transition of daily average air temperature above 3°C	17.03	13	23.02	02.04	0.76*
Переход температуры воздуха через рубеж 4°C Steady transition of daily average air temperature above 4°C	25.03	10	25.02	03.04	0.59*
Переход температуры воздуха через рубеж 5°C Steady transition of daily average air temperature above 5°C	29.03	6	13.03	08.04	0.51*
Переход температуры воздуха через рубеж 8°C Steady transition of daily average air temperature above 8°C	10.04	7	29.03	22.04	0.03
Переход температуры воздуха через рубеж 10°C Steady transition of daily average air temperature above 10°C	17.04	9	31.03	01.05	0.07
Переход максимума температуры воздуха через рубеж 0°C Steady transition of daily maximum air temperature above 0°C	27.02	13	01.02	21.03	0.91*
Переход минимума температуры воздуха через рубеж 0°C Steady transition of daily minimum air temperature above 0°C	21.03	13	22.02	03.04	0.69*
Последний заморозок на почве Latest frost on the soil surface	16.04	9	30.03	30.04	0.23
Последний заморозок в воздухе Latest frost in the air	09.04	12	23.03	26.04	0.24
Разрушение устойчивого снежного покрова Destruction of sustainable snow cover	11.03	12	22.02	03.04	0.87*

Примечание: * – значимые значения при $p < 0.05$.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции даты начала массового цветения *B. versicolor* в окрестностях Волгограда, максимальных, минимальных и средних суточных температур воздуха и почв по метеостанции в Волгограде
Table 2 – Correlation coefficients for the date of *Bulbocodium versicolor* mass flowering in the vicinity of the city Volgograd, air temperature, and soil temperature

Показатели температур Temperature indicators	Коэффициенты корреляции r Correlation coefficients					
	Температура воздуха Air temperature			Температура почвы Soil temperature		
	Средняя температура Mean temperature	Максимальная температура Maximum temperature	Минимальная температура Minimum temperature	Средняя температура Mean temperature	Максимальная температура Maximum temperature	Минимальная температура Minimum temperature
Сумма положительных от начала года Accumulated positive from the beginning of the year	0.16	0.06	0.40	0.32	0.35	-0.19
Средние от схода снега до цветения Mean from snow melting to flowering	0.46	0.41	-0.16	0.55*	0.57*	-0.07
Средние положительные от схода снега до цветения Average positive from snow melting to flowering	0.63*	0.42	0.58*	0.64*	0.58*	-0.24
Максимальные от схода снега до цветения Maximum from snow melting to flowering	0.73*	0.41	0.41	0.67*	0.61*	-0.29
Минимальные от схода снега до цветения Minimal from snow melting to flowering	0.21	0.23	-0.20	0.30	0.40	0.26
Сумма от схода снега до цветения Accumulated from snow melting to flowering	0.50*	0.26	0.50*	0.51*	0.41	0.36
Сумма положительных от схода снега до цветения Accumulated positive from snow melting to flowering	0.52*	0.26	0.64*	0.52*	0.41	0.47

Примечание: * – значимые значения при $p < 0.05$.

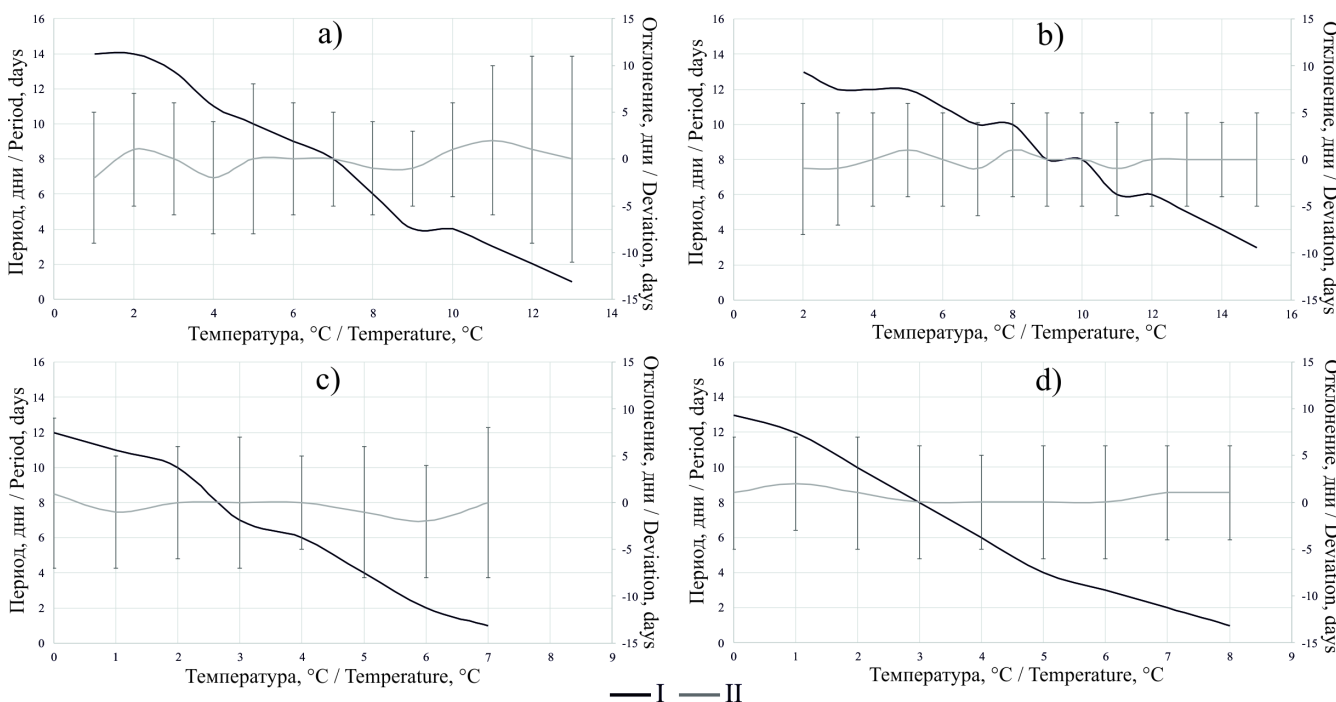


Рис. 4. Влияние длительности периода температур (I) на отклонение расчетных дат цветения *Bulbocodium versicolor* в окрестностях Волгограда от фактических (II): максимальные суточные температуры воздуха (а) и поверхности почвы (b), среднесуточные температуры воздуха (с) и поверхности почвы (d) по данным метеостанции в Волгограде.
Fig. 4. The influence of the duration of the temperature period (I) on the deviation of the calculated dates of *Bulbocodium versicolor* flowering in the vicinity of the city Volgograd from the actual ones (II): maximum daily air temperature (a), soil surface temperature (b), daily average air temperature (c), and soil surface temperature (d).

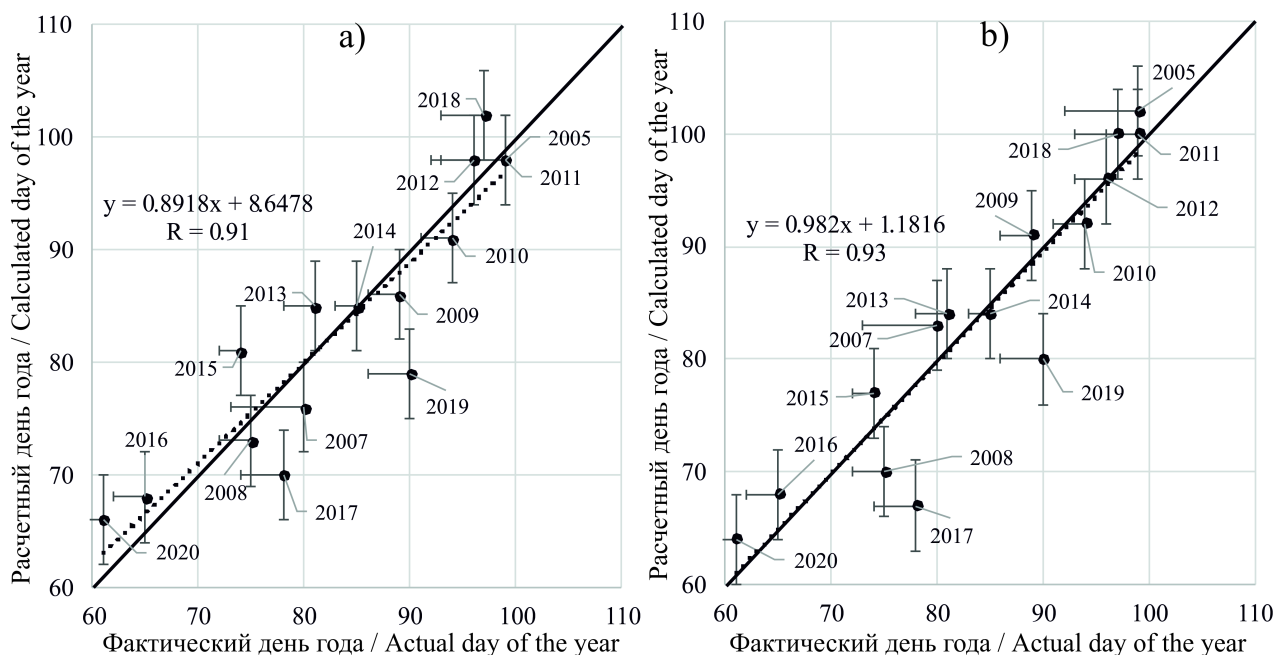


Рис. 5. Сопоставление фактических и расчетных дат цветения *Bulbocodium versicolor* в окрестностях Волгограда по максимальной суточной температуре поверхности почвы (а) и воздуха (б); планками показаны погрешности определения дат.
Fig. 5. Comparison of actual and calculated dates of *Bulbocodium versicolor* flowering in the vicinity of the city Volgograd according to the maximum daily temperature of the soil surface (a) and air (b); bars show errors in determining dates.

Установлена значимая отрицательная связь между фактическими датами массового цветения за 2007–2020 гг. и среднемесячными температурами воздуха февраля ($r = -0.78$), марта ($r = -0.86$) и средней за эти два месяца ($r = -0.88$). Таким образом, рост температуры в феврале и марте способствует более раннему развитию растений и соответственно более раннему наступлению массового цветения. Также существует значимая корреляция между датами массового цветения и месячными суммами осадков: $r = 0.57$ для фактических дат цветения в 2007–2020 гг. и суммы осадков за март.

По данным NDVI вегетационный период в 2007–2020 гг. в среднем начинается 24 марта ± 17 дней согласно дате двойного прироста NDVI и 28 марта ± 18 дней согласно дате максимального прироста NDVI (рис. 7). При этом дата, рассчитанная через двойной прирост NDVI, имеет более сильную связь с датой массового цветения ($r = 0.68$). Таким образом, дата начала вегетационного сезона совпадает с датой начала массового цветения *B. versicolor*, но имеет большее стандартное отклонение.

Обсуждение

Климатические изменения приводят к более раннему началу вегетационного сезона в Северном полушарии (Wu et al., 2021). При этом нет подтвержденного разнонаправленного влия-

ния изменения минимальных или максимальных температур на фенологические особенности и продуктивность растительности (Zhu et al., 2022). На большей части подзоны опустыненных степей и северных пустынь в России и Западном Казахстане не отмечено изменений дат максимальной вегетации зональной растительности, превышающих одну декаду, в 2000–2019 гг. (Шинкаренко, Барталев, 2020). Также отмечается, что температура влияет на весеннюю фенологию только в отсутствие дефицита влаги (Ren et al., 2022). При этом влияние осадков на наступление фенодат весной меньше, чем летом, что может быть связано с увлажнением почвы после таяния снега (Кузнецова и др., 2014). На 220 видах растений в Китае показано, что цветущие ранней весной растения более чувствительны к температуре, чем цветущие поздней весной и летом. Поэтому рост температур способствует как более раннему цветению, так и сокращению его длительности (Zhang et al., 2015). Также установлено влияние температур почв на сроки наступления фенодат *Stipa breviflora* Griseb. на севере Китая (Bai et al., 2022). Сдвиг основных фенодат на более ранние характерен также и для растительности Центрально-Лесного заповедника в России, но при этом статистически значим тренд за 1984–2017 гг. только для одного вида – *Anemonoides nemorosa* (L.) Holub (Зорина и др., 2020).



Рис. 6. Динамика фактических и восстановленных дат цветения *Bulbocodium versicolor* в окрестностях Волгограда (а: I – восстановление по температуре почвы, II – по температуре воздуха, III – фактические даты), средних температур по метеостанции в Волгограде (b: I – февраля и марта, II – марта, III – годовые). * – значимые значения при $p < 0.05$.
Fig. 6. Dynamics of actual and reconstructed *Bulbocodium versicolor* flowering dates in the vicinity of the city Volgograd (a: I – reconstruction by soil temperature, II – by air temperature, III – average value of I and II, IV – actual dates), and values of average temperature (b: I – in February and March, II – in March, III – annual). * – significant values at $p < 0.05$.

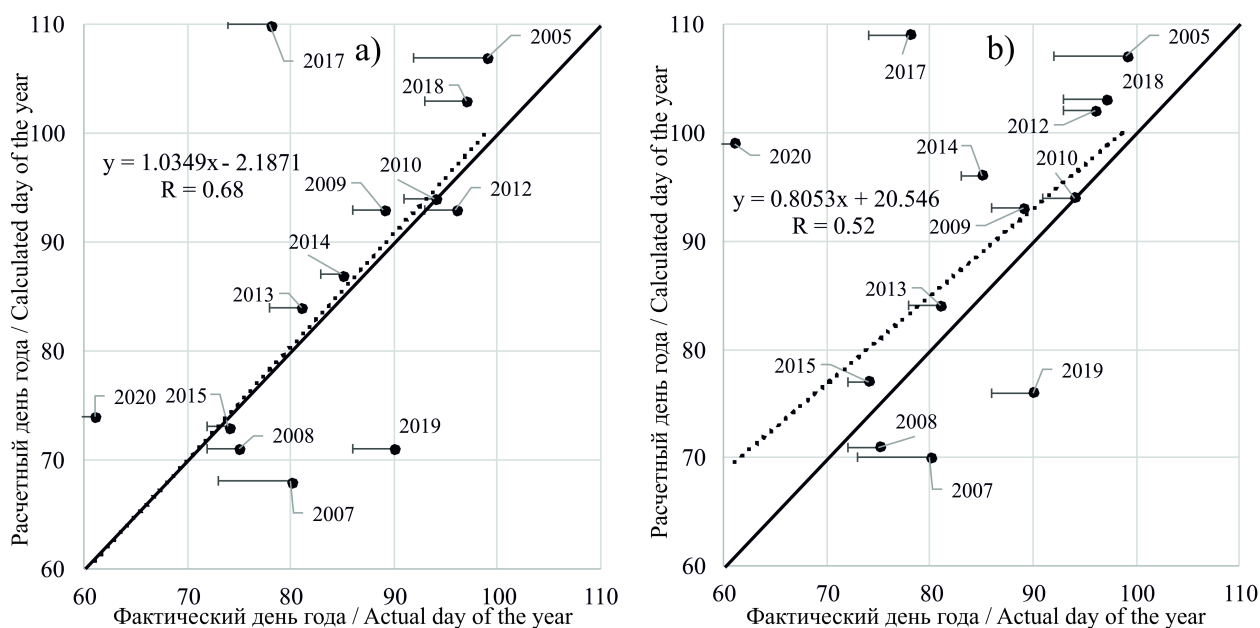


Рис. 7. Сопоставление фактических дат начала массового цветения и начала вегетационного периода *B. versicolor* в окрестностях Волгограда по данным двойного прироста NDVI (а) и максимального прироста NDVI (b).
Fig. 7. Comparison of actual dates of *Bulbocodium versicolor* flowering and start of vegetation season in the vicinity of the city Volgograd based on the double NDVI increase (a) and the maximum NDVI increase (b).

Сезонный ход температуры поверхности в районе исследований связан с температурами воздуха (Shinkarenko et al., 2021). При этом прогрев поверхности зачастую опережает прогрев воздуха (Шинкаренко и др., 2020). Таким образом, наступление фенологических фаз раннецветущего *B. versicolor* должно зависеть не только от температур воздуха, но и от оттаивания поверхности почвы после схода снега. Это подтверждается положительной связью между датами разрушения снежного покрова и массового цветения ($r = 0.87$), т.е. чем позже сходит снег, тем позже начинается развитие растений. При этом связь с датой перехода максимальных температур через 0°C немного сильнее, чем с соответствующей датой среднесуточных температур. Это может быть связано с постепенным таянием снега при кратковременных оттепелях и прогреве поверхности почвы. По наблюдениям автора, всходы *B. versicolor* появляются еще при устойчивых отрицательных минимальных суточных температурах воздуха, пока почва еще не оттаяла на всю глубину. Поэтому при фенологических исследованиях *B. versicolor* и других раннецветущих растений важно учитывать не только среднесуточные, но и максимальные температуры, при которых возможно кратковременное оттаивание поверхности почвы.

Суммы активных температур ранней весной, как за период от начала года, так и от даты разрушения снежного покрова до массового цветения *B. versicolor*, слабо связаны с соответствующими датами цветения. Это характерно и для других видов растений, например, произрастающих в центральной части Европейской России: *Betula pendula* Roth., *Prunus padus* L., *Sorbus aucuparia* L., *Tilia cordata* Mill. (Минин и др., 2018). Таким образом, суммы активных температур в большей степени оказывают влияние на наступление фенодат летнего периода.

Ранее отрастание эфемероидов связано с мягкой зимой и влажной весной, а позднее – с низкими температурами и мощным снежным покровом (Зубцова и др., 2002). Самое раннее цветение *B. versicolor* зафиксировано в 2020 г. В этом же году было самое раннее начало цветения *Iris aphylla* L. в Чувашии за период 2004–2020 гг., что связано с быстрым сходом снежного покрова и вымораживанием снега и льда без образования луж, а также ранней и теплой весной (Димитриев, Рахматуллин, 2020).

Отмечено увеличение числа молодых растений *B. versicolor* после весенних пожаров в Саратовской области (Куликова, Кашин, 2019). Весенние палы во время вегетации приводят к резкому снижению численности вида, а летние пожары улучшают условия для *B. versicolor* из-за снижения проективного покрытия остальных растений и уничтожения ветоши. Это характерно и для Воронежской, и для Саратовской областей (Кузнецов и др., 2011; Кашин и др., 2020). В месте обитания исследованной в данной работе популяции в окрестностях Волгограда отсутствовали весенние палы в изучаемый период (Шинкаренко, Берденгалиева, 2019).

Bulbocodium versicolor отличается очень ранними датами вегетации и цветения с одновременным развитием генеративных и вегетативных органов в условиях низкой конкуренции с другими видами, когда большая часть растений еще не начала вегетацию (Куликова и др., 2017; Куликова, 2020). Исследуемая популяция расположена на открытой местности в средней и верхней частях склонов балки. Растительный покров в это время представлен сообществом *Poa bulbosa* L. + *Bulbocodium versicolor* + *Gagea pusilla* (F.W. Schmidt) Sweet, что подтверждается более ранними исследованиями (Кашин и др., 2020). Через 1–2 недели после массового цветения аспект *B. versicolor* сменяется *Tulipa biflora* Pall., затем *Tulipa sylvestris* subsp. *australis* (Link) Pamp. Во второй половине весны и летом в сообществах доминируют *Artemisia* spp., *Agropyron* spp., *Stipa* spp., *Camphorosma monspeliaca* L., *Bassia prostrata* (L.) Beck. в зависимости от форм мезо- и микрорельефа. *Bulbocodium versicolor* на протяжении своего ареала входит в состав разных сообществ, которые отличаются как по видовому составу, так и обилию видов (Кашин и др., 2020; Куликова, 2020). В российской части ареала древесно-кустарниковые растения редко встречаются в сообществах *B. versicolor* (Кашин и др., 2020). В украинской части ареала отмечается расположение популяций среди густой древесно-кустарниковой растительности, например, в Одесской области (Мельник и др., 2007). Вид характеризуется устойчивостью к пастбищным нагрузкам и сенокосению. При высокой сомкнутости травостоя состояние популяции ухудшается (Агафонов и др., 2009; Кузнецов и др., 2011; Куликова и др., 2017; Солнышки-

на, 2018) с выпадением *B. versicolor* из сообществ при зарастании длиннокорневищными злаками (Кашин и др., 2020). По этим причинам представляются перспективными исследования фенологических закономерностей в зависимости от видового состава растительных сообществ и антропогенных нагрузок.

Исследованная популяция в окрестностях Волгограда расположена на расстоянии 50–150 км от ближайших известных местобитаний вида (Kashin et al., 2020) и не имеет значительного сходства с ними (Куликова, 2020). По этой причине выявленные в данной работе закономерности не могут применяться для других популяций без соответствующей корректировки. В то же время многолетние фенологические данные по *B. versicolor* в других местообитаниях отсутствуют. Имеются только отрывочные указания на фенодаты в отдельные годы. Например, Солнышкиной (2018) указано, что в 2016 г. в Белгородской области начало цветения отмечено 8 марта при средней температуре воздуха 5.1°C, а начало массового цветения – 12 марта при средней температуре воздуха 3.2°C. Массовое цветение продолжалось до апреля при том, что периодически среднесуточная температура опускалась ниже 0°C. В окрестностях Волгограда массовое цветение в этот год было зафиксировано 6 марта при среднесуточной температуре воздуха 8.3°C. В дальнейшем среднесуточные температуры здесь также опускались ниже 0°C и выпадал снег.

В Белгородской области не у всех обследованных экземпляров в 2016 г. образовались коробочки (Солнышкина, 2018). В Саратовской области семенная продуктивность ниже, чем в Воронежской (Кузнецов и др., 2011; Kulikova et al., 2019). В Волгоградской области подобные исследования семенной продуктивности не проводились. Исследование онтогенетической структуры изучаемой популяции на основе индекса восстановления, выполненное Кашиным и др. (2020), показало, что она находится в близком к критическому состоянию. Индекс восстановления – отношение числа прегенеративных особей к сумме числа прегенеративных и генеративных особей; значения более 0.5 свидетельствуют о способности самовосстановления ценопопуляции (Глотов, 1998). Изучаемая популяция показала индекс восстановления 0.45, что ниже, чем на большей части российского ареала (Кашин и

др., 2020). Меньшие значения этого показателя имеют только некоторые популяции Саратовской и Волгоградской областей, где велика масса растительной ветоши, препятствующей полноценному развитию *B. versicolor* (Кашин и др., 2020). Более низкие ранневесенние температуры могут вызывать депрессивное состояние популяции *B. versicolor* (Богослов и др., 2021). Поэтому практически ежегодные заморозки в воздухе и на почве, снегопады после начала массового цветения существенно ухудшают состояние растений и снижают их семенную продуктивность. Это подтверждается проведенным в 2014–2019 гг. исследованием Кашина и др. (2020): в данной популяции в окрестностях Волгограда преобладают генеративные особи.

Даты массового цветения связаны с температурами воздуха в марте и феврале: чем выше температуры, тем раньше цветение. Наблюдается устойчивый положительный тренд температур и февраля, и марта за 1980–2020 гг. Поэтому возможно дальнейшее смещение сроков фенологических фаз *B. versicolor* на более ранние даты. Тренд дат начала массового цветения в 2007–2020 гг. отсутствует. Чем раньше наступает массовое цветение, тем выше шанс, что в этот период могут случиться заморозки и снегопады. Выпадение снега существенно изменяет даты наступления фенологических дат (An et al., 2022). Похолодание влияет не только на состояние растений, но и на активность насекомых-опылителей (Musolin & Saulich, 2012). Возможно, меньшая семенная продуктивность и более низкое семенное возобновление южных популяций *B. versicolor* связаны с похолоданиями в период массового цветения. Это явление требует дополнительных многолетних исследований по выявлению влияния погодных условий в период массового цветения на семенную продуктивность и возобновление *B. versicolor* и других раннецветущих видов. Также в перспективе требуются дополнительные исследования по определению как начала вегетационного периода популяций, так и даты массового цветения *B. versicolor*, на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

Использование закономерностей, полученных в данной работе, позволит усовершенствовать охрану местообитания *B. versicolor* в окрестностях Волгограда. Пока этот участок

не имеет статуса особо охраняемой природной территории, здесь затруднительно ограничивать рекреационную нагрузку. Тем не менее, в период массового цветения необходимо ввести запрет на имеющие место в настоящее время катания на внедорожных автомобилях, багги и мотоциклах, выкапывание луковиц и сбор цветов на букеты (часто вместе с луковицами) по склонам балки Отрада в местах произрастания вида.

Заключение

Наблюдения за популяцией *B. versicolor* в окрестностях Волгограда показали, что средняя дата начала массового цветения в 2007–2020 гг. 24 марта \pm 12 дней. При этом амплитуда этой даты составляет около месяца. Массовое цветение *B. versicolor* примерно совпадает с началом вегетации большей части остальной растительности. Наиболее сильная связь даты массового цветения была обнаружена с датами разрушения снежного покрова, устойчивого перехода максимальных температур воздуха через 0°C и среднесуточных температур воздуха через 0°C и 3°C. Также установлена значимая связь между началом массового цветения и максимальными температурами периода от схода снега до цветения. Суммы активных температур с разными пороговыми значениями связаны с датой цветения в меньшей степени. В то же время существующая значимая связь может быть вызвана большим количеством слагаемых при определении суммы температур при сдвиге даты на более поздний срок. Суммы осадков в период вегетации *B. versicolor* не влияют на наступление фенологических дат; это характерно для многих раннецветущих растений. В результате моделирования длительности периода с определенными пороговыми температурами до наступления даты массового цветения получены необходимые условия: 8 дней с максимальной температурой поверхности почвы более 9°C или 6 дней с максимальной температурой воздуха более 8°C. *Bulbocodium versicolor* начинает вегетацию еще при отрицательных в ночное время температурах. Поэтому для развития важны максимальные суточные температуры, при которых днем возможно оттаивание поверхности почвы. Практически ежегодно последние заморозки в воздухе и на почве происходят уже после начала массового цветения; в этот период также

нередки и снегопады. Последствием этого может быть более низкая семенная продуктивность растений и худшее возобновление в исследованной популяции по сравнению с более северными регионами.

Местообитание *B. versicolor*, расположенное в непосредственной близости от Волгограда, не является ООПТ. Из-за эрозионного рельефа и солонцеватых почв ему не угрожает распашка. Тем не менее, угрозу этой популяции могут представлять рекреационная нагрузка, уничтожение растений на букеты и выкапывание луковиц. Выявленные закономерности наступления даты массового цветения помогут организовать охрану в период наибольшей уязвимости популяции.

Благодарности

Работа выполнена по теме НИР ФНЦ агроэкологии РАН №122020100311-3.

Литература

- Агафонов В.А., Кузнецов Б.И., Негрбов В.В. 2009. К характеристике растительного покрова степных местообитаний брандушки разноцветной (*Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng.) в Воронежской области // Поволжский экологический журнал. №3. С. 258–262.
- Баранова О.Г., Сагалаев В.А. (ред.). 2017. Красная книга Волгоградской области. Книга в двух томах. 2-е изд., перераб. и доп. Т. 2. Растения и другие организмы. Воронеж: Издат-Принт. 268 с.
- Баранова Т.Ю., Иванисова Н.В. 2016. К вопросу фенологии *Convallaria majalis* L. в условиях свежих дубрав Среднего Дона // Научный журнал КубГАУ. Т. 122(8). С. 109–118. DOI: 10.21515/1990-4665-122-010
- Бейдеман И.Н. 1974. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск: Наука. 155 с.
- Богослов А.В., Кашин А.С., Пархоменко А.С., Куликова Л.В., Шилова И.В., Князева А.К. 2021. Виталитетная структура популяций *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (Colchicaceae, Liliopsida) в условиях Нижнего Поволжья // Поволжский экологический журнал. №2. С. 127–145. DOI: 10.35885/1684-7318-2021-2-127-145
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. 2004. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR). Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2014620942. Доступно через <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>
- Герасимович Л.В. 2019. *Tulipa tshimganica* Botschantz. в коллекции Центрального Сибирского ботаниче-

- ского сада СО РАН // Самарский научный вестник. Т. 8(4). С. 38–43.
- Глотов Н.В. 1998. Об оценке параметров возрастной структуры популяций растений // Жизнь популяций в гетерогенной среде. Ч. 1. Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл. С. 146–149.
- Гусев А.В. 2014. Виды Красной книги Российской Федерации во флоре Белгородской области (Материалы к новому изданию Красной книги Белгородской области) // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. Т. 3(174). С. 27–38.
- Димитриев А.В., Рахматуллин М.М. 2020. Материалы к фенологии и экологии батыревской популяции ириса безлистного (*Iris aphylla* L.) (Чувашия) // Самарский научный вестник. Т. 9(3). С. 44–48. DOI: 10.17816/snv202093107
- Зорина А.А., Шуйская Е.А., Куракина И.В., Волков В.П., Огурцов С.С., Степанов С.Н. 2020. Климатические причины смещения сроков цветения растений в Центрально-Лесном заповеднике // Поволжский экологический журнал. №1. С. 52–65. DOI: 10.35885/1684-7318-2020-1-52-65
- Зубцова Т.В., Остапенко В.М., Муленкова Е.Г. 2002. Влияние метеорологических условий на динамику фенологического развития *Anemonoides ranunculoides* (L.) Holub. // Промышленная ботаника. №2. С. 157–161.
- Кашин А.С., Куликова Л.В., Петрова Н.А., Шилова И.В., Пархоменко А.С., Лаврентьев М.В. 2020. Онтогенетическая структура ценопопуляций *Bulbocodium versicolor* (Melanthiaceae) в Нижнем Поволжье // Ботанический журнал. Т. 105(5). С. 479–496. DOI: 10.31857/S000681362005004X
- Кокорин А.О., Кожаринов А.В., Минин А.А. 2001. Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. М.: Русский университет. 184 с.
- Кузнецов Б.И., Моисеева Е.В., Глазнева О.С. 2011. Семенная продуктивность ранневесенних степных эфемероидов на примере *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. и *Bellevalia sarmatica* (Pall. ex Georgi) Wagonov в природных условиях и культуре // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. №2. С. 104–106.
- Кузнецова В.В., Минин А.А., Голубева Е.И. 2014. Фенологические явления в системе биоиндикации климатических трендов // Проблемы региональной экологии. №5. С. 66–71.
- Куликова Л.В. 2020. Эколого-биологическая характеристика *Bulbocodium versicolor* (Ker-gawler) Spreng. в Нижнем Поволжье. Автореферат дисс. канд. биол. наук. Пенза. 22 с.
- Куликова Л.В., Кашин А.С. 2019. К вопросу охраны *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. (Melanthiaceae) в Саратовской области // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Т. 18(1). С. 653–657. DOI: 10.14258/pbssm.2019138
- Куликова Л.В., Кашин А.С., Петрова Н.А. 2017. Биологическое разнообразие растительных сообществ с участием *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. // Научные труды Национального парка «Хвалынский». Т. 9. С. 13–17.
- Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. 2019. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 16(3). С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170
- Мельник В.И., Гриценко В.В., Шевченко Д.Ю. 2006. *Bulbocodium versicolor* (Melanthiaceae) в Украине // Ботанический журнал. Т. 91(10). С. 1528–1537.
- Мельник В.И., Гриценко В.В., Шевченко Д.Ю., Диденко С.Я. 2007. *Bulbocodium versicolor* (Melanthiaceae) – редкий вид флоры Европы (географическое распространение, условия обитания и структура популяций). Киев: Фитосоцицентр. 44 с.
- Миклашевич Т.С., Барталев С.А. 2016. Метод определения фенологических характеристик растительного покрова на основе временных рядов спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 13(1). С. 9–24. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-9-24
- Минин А.А., Ранькова Э.Я., Буйволов Ю.А., Сапельникова И.И., Филатова Т.Д. 2018. Фенологические тренды в природе центральной части Русской равнины в условиях современного потепления // Жизнь Земли. Т. 40(2). С. 162–174.
- Минин А.А., Ананин А.А., Буйволов Ю.А., Ларин Е.Г., Лебедев П.А., Поликарпова Н.В., Прокошева И.В., Руденко М.И., Сапельникова И.И., Федотова В.Г., Шуйская Е.А., Яковлева М.В., Янцер О.В. 2020. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. Т. 5(4). С. 89–110. DOI: 10.24189/ncr.2020.060
- Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П., Верещагин М.А., Хабутдинов Ю.Г., Исмагилов Н.В., Тудрий В.Д. 2008. Основные особенности климата последних десятилетий на территории Татарстана // Ученые записки Казанского государственного университета. Естественные науки. Т. 150(4). С. 21–33.
- Петрова Н.А., Шилова И.В., Кашин А.С., Березуцкий М.А., Серова Л.А., Решетникова Т.Б. 2015. О распространении брандушки разноцветной в Саратовской области // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. Т. 13. С. 25–31.
- Солнышкина Е.Н. 2018. Брандушка разноцветная *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. на участке «Ямская степь» государственного природного заповедника «Белогорье» // Региональные ботанические исследования как основа сохранения биоразнообразия. Воронеж: Научная книга. С. 152–155.

- Ушаков М.В., Недосекина Т.В. 2019. Особенности фенологии и температурных норм развития двух видов *Clematis* L. (Ranunculaceae) в условиях заповедника «Галичья гора» (Липецкая область) // Журнал общей биологии. Т. 80(2). С. 135–144. DOI: 10.1134/S0044459619020076
- Цвелев Н.Н. 2008. Брандушка разноцветная – *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. // Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 339–340.
- Шинкаренко С.С. 2019. Пожарный режим ландшафтов Северного Прикаспия по данным очагов активного горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 16(1). С. 121–133. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-121-133
- Шинкаренко С.С., Берденгадиева А.Н. 2019. Анализ многолетней динамики степных пожаров в Волгоградской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 16(2). С. 98–110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110
- Шинкаренко С.С., Барталев С.А. 2020. Сезонная динамика NDVI пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 17(4). С. 179–194. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194
- Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Гордиенко О.А., Дубачева А.А., Омаров Р.С. 2020. Анализ влияния запечатанности почвенного покрова и озеленения на поле температур Волгоградской агломерации по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 17(5). С. 125–141. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-125-141
- Шихова Т.Г., Соловьев А.Н. 2021. Динамика границ фенологических сезонов на востоке Русской равнины (г. Киров) // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. Т. 163(2). С. 289–301. DOI: 10.26907/2542-064X.2021.2.289-301
- Álvarez-Yépez J.C., Búrquez A., Martínez-Yrizar A., Doviak M. 2019. A trait-based approach to the conservation of threatened plant species // Oryx. Vol. 53(3). P. 429–435. DOI: 10.1017/S003060531800087X
- An S., Zhang X., Ren S. 2022. Spatial Difference between Temperature and Snowfall Driven Spring Phenology of Alpine Grassland Land Surface Based on Process-Based Modeling on the Qinghai–Tibet Plateau // Remote Sensing. Vol. 14(5). Article: 1273. DOI: 10.3390/rs14051273
- Arnold C.Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system // Proceedings of the American Society for Horticultural Science. Vol. 74(4). P. 430–445.
- Badarau A.S., Groza Gh., Oncu M., Pestina C. 1997. *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng., element silvostepic sarmatic, in flora campiei Transilvaniei // Studia universitatis Babeş-Bolyai, Geographia. Vol. 42(1–2). P. 147–149.
- Bai L., Lv S., Qu Z., Ren H., Wu Q., Han G., Li Z. 2022. Effects of a warming gradient on reproductive phenology of *Stipa breviflora* in a desert steppe // Ecological Indicators. Vol. 136. Article: 108590. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108590
- Biederman L.A., Beckman J., Prekker J., Anderson D.S., Sather N., Dahle R. 2014. Phenological Monitoring Aids Habitat Management of Threatened Plant // Natural Areas Journal. Vol. 34(1). P. 105–110. DOI: 10.3375/043.034.0112
- Blunk M. 1923. Die Entwicklung von *Dytiscus marginalis* L. vom Ei bis zur Imago. 2. Die Metamorphose // Zeitschrift für Wissenschaftliche Zoologie. Vol. 121. P. 121–171.
- Conti F., Manzi A., Pedrotti F. 1997. Liste Rosse Regionali delle Piante d'Italia. Camerino: Università degli Studi. 139 p.
- Csapody I. 1982. Védett növényeink. Budapest. 349 p.
- Ettinger A.K., Chamerlain C.J., Wolkovich E.M. 2022. The increasing relevance of phenology to conservation // Nature Climate Change. Vol. 12(4). P. 305–307. DOI: 10.1038/s41558-022-01330-8
- Huang S., Tang L., Hupy J.P., Wang Y., Shao G. 2021. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing // Journal of Forestry Research. Vol. 32(1). P. 1–6. DOI: 10.1007/s11676-020-01155-1
- Ihouye D.W. 2022. Climate change and phenology // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. Vol. 13(3). Article: e764. DOI: 10.1002/wcc.764
- Kashin A.S., Parkhomenko A.S., Kulikova L.V., Petrova N.A., Shilova I.V., Lavrentiev M.V. 2020. Potential range of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. (Colchicaceae, Liliopsida) in Russia // Povolzhskiy Journal of Ecology. №2. P. 241–247. DOI: 10.35885/1684-7318-2020-2-241-247
- Kirillova I.A., Kirillov D.V. 2020. Impact of weather conditions on seasonal development, population structure and reproductive success on *Dactylorhiza traunsteineri* (Orchidaceae) in the Komi Republic (Russia) // Nature Conservation Research. Vol. 5(Suppl.1). P. 77–89. DOI: 10.24189/ncr.2020.016
- Kulikova L.V., Kashin A.S., Petrova N.A., Shilova I.V. 2019. Some ecological peculiarities of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. (Colchicaceae, Magnoliophyta) in the Lower Volga region // Biology Bulletin. Vol. 46(10). P. 1294–1301. DOI: 10.1134/S1062359019100182
- Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. 2022. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. Vol. 14(1). Article: 77. DOI: 10.3390/rs14010077
- Magoon C.A., Culpepper C.W. 1932. Response of sweet corn to varying temperatures from time of planting to canning maturity. Technical Bulletins. №312. Washington D.C.: US Department of Agriculture. 40 p.
- Melnik V., Gritsenko V., Shevchenko D. 2006. Areal, ecological and coenotical conditions of habitats and structure of populations *Bulbocodium versicolor* (Ker-

- Gawl.) Spreng. (Melanthiaceae) // Plant Introduction. Vol. 29. P. 23–35. DOI: 10.5281/zenodo.2567195
- Menghini A., Bencivenga M. 1974. Nuova stazione italiana di *Bulbocodium vernum* Spreng. // Informatore Botanico Italiano. Vol. 6. P. 150–153.
- Menghini A., Mincigrucchi G. 1975. Nuove stazioni di *Bulbocodium vernum* L. subsp. *versicolor* (Ker-Gawler) Richter in Umbria // Informatore Botanico Italiano. Vol. 8. P. 59–61.
- Morellato L.P.C., Alberton B., Alvarado S.T., Borges B., Buisson E., Camargo M.G.G., Cancian L.F., Carstensen D.W., Escobar D.E.F., Leite P.T.P., Mendoza I., Rocha N.M.W.B., Soares N.C., Silva T.S.F., Staggemeier V.G., Streher A.S., Vargas B.C., Peres C.A. 2016. Linking plant phenology to conservation biology // Biological Conservation. Vol. 195. P. 60–72. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.12.033
- Musolin D.L., Saulich A.K. 2012. Responses of insects to the current climate changes: from physiology and behavior to range shifts // Entomological Review. Vol. 92(7). P. 715–740. DOI: 10.1134/S0013873812070019
- Nuttonson M.Y. 1958. Wheat-climate relationships and the use of phenology in ascertaining the phenothermal requirements of wheat. Washington D.C.: American Institute of Crop Ecology. 388 p.
- Oltean M., Negreanu G., Popescu A., Roman N., Dihoru G., Sanda V., Mihăilescu S. 1994. Lista roșie a plantelor superioare din România // Studii, Sinteze, Documentații de Ecologie. Vol. 1. București. P. 1–52.
- Oskay D. 2020. Conservation Essays and Phenology of Critically Endangered Endemic Plant *Erodium somanum* // Celal Bayar University Journal of Science. Vol. 16(2). P. 237–243. DOI: 10.18466/cbayarfe.690831
- Pereira H.M., Ferrier S., Walters M., Geller G.N., Jongman R.H.G., Scholes R.J., Bruford M.W., Brummitt N., Butchart S.H.M., Cardoso A.C., Coops N.C., Dulloo E., Faith D.P., Freyhof J., Gregory R.D., Heip C., Höft R., Hurr G., Jetz W., Karp D.S., McGeoch M.A., Obura D., Onoda Y., Pettorelli N., Reyers B., Sayre R., Scharlemann J.P.W., Stuart S.N., Turak E., Walpole M., Wegmann M. 2013. Essential biodiversity variables // Science. Vol. 339(6117). P. 277–278. DOI: 10.1126/science.1229931
- Razanajatovo M., Föhr C., van Kleunen M., Fischer M. 2018. Phenological shifts and flower visitation of 185 lowland and alpine species in a lowland botanical garden // Alpine Botany. Vol. 128(1). P. 23–33. DOI: 10.1007/s00035-018-0201-x
- Reed B.C., Brown J.F., VanderZee D., Loveland T.R., Merchant J.W., Ohlen D.O. 1994. Measuring phenological variability from satellite imagery // Journal of Vegetation Science. Vol. 5(5). P. 703–714. DOI: 10.2307/3235884
- Ren S., Chen X., Pan C. 2022. Temperature-precipitation background affects spatial heterogeneity of spring phenology responses to climate change in northern grasslands (30°N–55°N) // Agricultural and Forest Meteorology. Vol. 315. Article: 108816. DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.108816
- Sanderson E.D., Pears M.L. 1913. The relation of temperature to insect life // New Hampshire College Agricultural Experiment Station Technical Bulletin. №7. P. 1–125.
- Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Gordienko O.A., Dubacheva A.A., Omarov R.S. 2021. The Relationship between the Seasonal Dynamics of Surface Temperature and NDVI in Urbanized Areas of an Arid Zone. The Case of the Volgograd Agglomeration // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. Vol. 57(12). P. 1562–1571. DOI: 10.1134/S0001433821120197
- Ushakov M.V., Nedosekina T.V. 2017. Method for the evaluation of thermal requirements for development based on phenological observations // Russian Journal of Ecology. Vol. 48(5). P. 409–416. DOI: 10.1134/S1067413617050137
- Wetschnig V.W. 1992. Chromosomenzahlen Kärntner Gefäßpflanzen (Teil 4): Karyotypmorphologie von *Bulbocodium vernum* L. (Colchicaceae) // Jahrgang. Klagenfurt. Carinthia. Vol. 182(102). P. 535–544.
- Willis C.G., Ellwood E.R., Primack R.B., Davis C.C., Pearson K.D., Gallinat A.S., Yost J.M., Nelson G., Mazer S.J., Rossington N.L., Sparks T.H., Soltis P.S. 2017. Old Plants, New Tricks: Phenological Research Using Herbarium Specimens // Trends in Ecology and Evolution. Vol. 32(7). P. 531–546. DOI: 10.1016/j.tree.2017.03.015
- Wu W., Sun Y., Xiao K., Xin Q. 2021. Development of a global annual land surface phenology dataset for 1982–2018 from the AVHRR data by implementing multiple phenology retrieving methods // International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation. Vol. 103. Article: 102487. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102487
- Yang S., Logan J., Coffey D.L. 1995. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days // Agricultural and Forest Meteorology. Vol. 74(1–2). P. 61–74. DOI: 10.1016/0168-1923(94)02185-M
- Zhang H., Yuan W., Liu Sh., Dong W., Fu Y. 2015. Sensitivity of flowering phenology to changing temperature in China // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. Vol. 120(8). P. 1658–1665. DOI: 10.1002/2015JG003112
- Zhu G., Wang X., Xiao J., Zhang K., Wang Y., He H., Li W., Chen H. 2022. Daytime and nighttime warming has no opposite effects on vegetation phenology and productivity in the northern hemisphere // Science of the Total Environment. Vol. 822. Article: 153386. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153386

References

- Agafonov V.A., Kuznetsov B.I., Negrobov V.V. 2009. Steppe vegetation characteristics of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. inhabitation in the Voronezh Region. *Povolzhskiy Journal of Ecology* 3: 258–262. [In Russian]
- Álvarez-Yépez J.C., Búrquez A., Martínez-Yrizar A., Dovciak M. 2019. A trait-based approach to the conserva-

- tion of threatened plant species. *Oryx* 53(3): 429–435. DOI: 10.1017/S003060531800087X
- An S., Zhang X., Ren S. 2022. Spatial Difference between Temperature and Snowfall Driven Spring Phenology of Alpine Grassland Land Surface Based on Process-Based Modeling on the Qinghai–Tibet Plateau. *Remote Sensing* 14(5): 1273. DOI: 10.3390/rs14051273
- Arnold C.Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 74(4): 430–445.
- Badarau A.S., Groza Gh., Oncu M., Pestina C. 1997. *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng., element silvostepic sarmatic, in flora campiei Transilvaniei. *Studia universitatis Babeş-Bolyai, Geographia* 42(1–2): 147–149.
- Bai L., Lv S., Qu Z., Ren H., Wu Q., Han G., Li Z. 2022. Effects of a warming gradient on reproductive phenology of *Stipa breviflora* in a desert steppe. *Ecological Indicators* 136: 108590. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108590
- Baranova O.G., Sagalaev V.A. (Eds.). 2017. *Red Data Book of the Volgograd Region. Vol. 2: Plants and other organisms*. 2nd ed. Voronezh: Izdat-Print. 268 p. [In Russian]
- Baranova T.Yu., Ivanisova N.V. 2016. To the question of phenology of *Convallaria majalis* L. in the conditions of the Middle Don. *Scientific Journal of KubSAU* 122(8): 109–118. DOI: 10.21515/1990-4665-122-010
- Beideman I.N. 1974. *Methods for studying the phenology of plants and plant communities*. Novosibirsk: Nauka. 155 p. [In Russian]
- Biederman L.A., Beckman J., Prekker J., Anderson D.S., Sather N., Dahle R. 2014. Phenological Monitoring Aids Habitat Management of Threatened Plant. *Natural Areas Journal* 34(1): 105–110. DOI: 10.3375/043.034.0112
- Blunk M. 1923. Die Entwicklung von *Dytiscus marginalis* L. vom Ei bis zur Imago. 2. Die Metamorphose. *Zeitschrift für Wissenschaftliche Zoologie* 121: 121–171.
- Bogoslov A.V., Kashin A.S., Parkhomenko A.S., Kulikova L.V., Shilova I.V., Knjazeva A.K. 2021. Vitality structure of *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (Colchicaceae, Liliopsida) populations in the Lower Volga region. *Povolzhskiy Journal of Ecology* 2: 127–145. DOI: 10.35885/1684-7318-2021-2-127-145 [In Russian]
- Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. 2004. *Description of the data array of daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR)*. Certificate of state registration of the database №2014620942. Available from <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#description-array-data> [In Russian]
- Conti F., Manzi A., Pedrotti F. 1997. *Liste Rosse Regionalli delle Piante d'Italia*. Camerino: Università degli Studi. 139 p.
- Csapody I. 1982. *Védett növényeink*. Budapest. 349 p.
- Dimitriev A.V., Rakhmatullin M.M. 2020. Materials on phenology and ecology of the batyrevskaya population of *Iris aphilla* L. (Chuvash Republic). *Samara Journal of Science* 9(3): 44–48. DOI: 10.17816/snv202093107 [In Russian]
- Ettinger A.K., Chamerlain C.J., Wolkovich E.M. 2022. The increasing relevance of phenology to conservation. *Nature Climate Change* 12(4): 305–307. DOI: 10.1038/s41558-022-01330-8
- Gerasimovich L.V. 2019. *Tulipa tschimganica* Botschantz. in the collection of the Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. *Samara Journal of Science* 8(4): 38–43. [In Russian]
- Glotov N.V. 1998. Assessment of parameters of the age structure of plant populations. In: *Life of populations in a heterogeneous environment*. Part 1. Yoshkar-Ola: Periodika Mari El. P. 146–149. [In Russian]
- Gusev A.V. 2014. Species of the Red Data Book of the Russian Federation in the flora of the Belgorod Region (materials for the new edition of the Red Data Book of the Belgorod Region). *Scientific Bulletin of the BelSU. Series Natural Sciences* 3(174): 27–38. [In Russian]
- Huang S., Tang L., Hupy J.P., Wang Y., Shao G. 2021. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research* 32(1): 1–6. DOI: 10.1007/s11676-020-01155-1
- Ihouye D.W. 2022. Climate change and phenology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 13(3): e764. DOI: 10.1002/wcc.764
- Kashin A.S., Kulikova L.V., Petrova N.A., Shilova I.V., Parkhomenko A.S., Lavrentiev M.V. 2020. Ontogenetic structure of *Bulbocodium versicolor* (Melanthiaceae) cenopopulations in the Lower Volga. *Botanicheskii Zhurnal* 105(5): 479–496. DOI: 10.31857/S000681362005004X [In Russian]
- Kashin A.S., Parkhomenko A.S., Kulikova L.V., Petrova N.A., Shilova I.V., Lavrentiev M.V. 2020. Potential range of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. (Colchicaceae, Liliopsida) in Russia. *Povolzhskiy Journal of Ecology* 2: 241–247. DOI: 10.35885/1684-7318-2020-2-241-247
- Kirillova I.A., Kirillov D.V. 2020. Impact of weather conditions on seasonal development, population structure and reproductive success on *Dactylorhiza traunsteineri* (Orchidaceae) in the Komi Republic (Russia). *Nature Conservation Research* 5(Suppl.1): 77–89. DOI: 10.24189/ncr.2020.016
- Kokorin A.O., Kozharinov A.V., Minin A.A. 2001. *Impact of climate change on the ecosystem. Protected Areas in Russia: analysis of long-term observations*. Moscow: Russkiy universitet. 184 p. [In Russian]
- Kulikova L.V. 2020. *Ecological-biological characterisation of Bulbocodium versicolor (Ker-gawler) Spreng. in the Lower Volga Region*. PhD Thesis Abstract. Penza. 22 p. [In Russian]
- Kulikova L.V., Kashin A.S. 2019. The issue of protection of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. (Melanthiaceae) in Saratov oblast. *Problems of Botany of South Siberia and Mongolia* 1(18): 653–657. DOI: 10.14258/pbssm.2019138 [In Russian]

- Kulikova L.V., Kashin A.S., Petrova N.A. 2017. Biodiversity of plant communities with participation of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. *Proceedings of the Khvalynsky National Park* 9: 13–17. [In Russian]
- Kulikova L.V., Kashin A.S., Petrova N.A., Shilova I.V. 2019. Some ecological peculiarities of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. (Colchicaceae, Magnoliophyta) in the Lower Volga region. *Biology Bulletin* 46(10): 1294–1301. DOI: 10.1134/S1062359019100182
- Kuznetsov B.I., Moiseeva E.V., Glazneva O.S. 2011. Seed productivity of early spring steppe ephemeroïds on example of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. and *Bellevalia sarmatica* (Pall. ex Georgi) Woronov in natural conditions and culture. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology* 2: 104–106. [In Russian]
- Kuznetsova V.V., Minin A.A., Golubeva E.I. 2014. The system of phenological events in bio-indication of climatic trends. *Regional Environmental Issues* 5: 66–71. [In Russian]
- Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. 2022. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System. *Remote Sensing* 14(1): 77. DOI: 10.3390/rs14010077
- Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Mazurov A.A., Marchenkov V.V., Matveev A.M., Radchenko M.V., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. 2019. Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 16(3): 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170 [In Russian]
- Magoon C.A., Culpepper C.W. 1932. *Response of sweet corn to varying temperatures from time of planting to canning maturity*. Technical Bulletins. №312. Washington D.C.: US Department of Agriculture. 40 p.
- Melnik V., Gritsenko V., Shevchenko D. 2006. Areal, ecological and coenotical conditions of habitats and structure of populations *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. (Melanthiaceae). *Plant Introduction* 29: 23–35. DOI: 10.5281/zenodo.2567195
- Melnik V.I., Gritsenko V.V., Shevchenko D.Yu. 2006. *Bulbocodium versicolor* (Melanthiaceae) in Ukraine. *Botanicheskii Zhurnal* 91(10): 1528–1537. [In Russian]
- Melnik V.I., Gritsenko V.V., Shevchenko D.Yu., Didenko S.Ya. 2007. *Bulbocodium versicolor* (Melanthiaceae) is a rare species of European flora (geographic distribution, habitat conditions and population structure). Kyiv: Phytosociocenter. 44 p. [In Russian]
- Menghini A., Bencivenga M. 1974. Nuova stazione italiana di *Bulbocodium vernum* Spreng. *Informatore Botanico Italiano* 6: 150–153.
- Menghini A., Mincigrucci G. 1975. Nuove stazioni di *Bulbocodium vernum* L. subsp. *versicolor* (Ker-Gawler) Richter in Umbria. *Informatore Botanico Italiano* 8: 59–61.
- Miklashevich T.S., Bartalev S.A. 2016. Method for estimating vegetation cover phenological characteristics from satellite data time series. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* 13(1): 9–24. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-9-24 [In Russian]
- Minin A.A., Rankova E.Ya., Buyvolov Yu.A., Sapelnikova I.I., Filatova T.D. 2018. Phenological trends in nature of the central part of the Russian Plain under the conditions of modern warming. *Life of the Earth* 40(2): 162–174. [In Russian]
- Minin A.A., Ananin A.A., Buyvolov Yu.A., Larin E.G., Lebedev P.A., Polikarpova N.V., Prokosheva I.V., Rudenko M.I., Sapelnikova I.I., Fedotova V.G., Shuyskaya E.A., Yakovleva M.V., Yantser O.V. 2020. Recommendations to unify phenological observations in Russia. *Nature Conservation Research* 5(4): 89–110. DOI: 10.24189/ncr.2020.060 [In Russian]
- Morellato L.P.C., Alberton B., Alvarado S.T., Borges B., Buisson E., Camargo M.G.G., Cancian L.F., Carstensen D.W., Escobar D.E.F., Leite P.T.P., Mendoza I., Rocha N.M.W.B., Soares N.C., Silva T.S.F., Staggemeier V.G., Streher A.S., Vargas B.C., Peres C.A. 2016. Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation* 195: 60–72. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.12.033
- Musolin D.L., Saulich A.K. 2012. Responses of insects to the current climate changes: from physiology and behavior to range shifts. *Entomological Review* 92(7): 715–740. DOI: 10.1134/S0013873812070019
- Nuttonson M.Y. 1958. *Wheat-climate relationships and the use of phenology in ascertaining the phenothermal requirements of wheat*. Washington D.C.: American Institute of Crop Ecology. 388 p.
- Oltean M., Negreanu G., Popescu A., Roman N., Dihoru G., Sanda V., Mihăilescu S. 1994. Lista roşie a plantelor superioare din România. In: *Studii, Sinteze, Documentații de Ecologie*. Vol. 1. Bucureşti. P. 1–52.
- Oskay D. 2020. Conservation Essays and Phenology of Critically Endangered Endemic Plant *Erodium somanum*. *Celal Bayar University Journal of Science* 16(2): 237–243. DOI: 10.18466/cbayarfbe.690831
- Pereira H.M., Ferrier S., Walters M., Geller G.N., Jongman R.H.G., Scholes R.J., Bruford M.W., Brummitt N., Butchart S.H.M., Cardoso A.C., Coops N.C., Dulloo E., Faith D.P., Freyhof J., Gregory R.D., Heip C., Höft R., Hurtt G., Jetz W., Karp D.S., McGeoch M.A., Obura D., Onoda Y., Pettorelli N., Reyers B., Sayre R., Scharlemann J.P.W., Stuart S.N., Turak E., Walpole M., Wegmann M. 2013. Essential biodiversity variables. *Science* 339(6117): 277–278. DOI: 10.1126/science.1229931
- Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Naumov E.P., Vereshchagin M.A., Khabutdinov Yu.G., Ismagilov N.V., Tudrii V.D. 2008. Main features of the climate of the last decades on the territory of Tatarstan. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki* 150(4): 21–33. [In Russian]

- Petrova N.A., Shilova I.V., Kashin A.S., Berezutsky M.A., Serova L.A., Reshetnikova T.B. 2015. The location of *Bulbocodium versicolor* in Saratov region about. *Bulletin of the Botanical Garden of the Saratov State University* 13: 25–31. [In Russian]
- Razanajatovo M., Föhr C., van Kleunen M., Fischer M. 2018. Phenological shifts and flower visitation of 185 lowland and alpine species in a lowland botanical garden. *Alpine Botany* 128(1): 23–33. DOI: 10.1007/s00035-018-0201-x
- Reed B.C., Brown J.F., VanderZee D., Loveland T.R., Merchant J.W., Ohlen D.O. 1994. Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of Vegetation Science* 5(5): 703–714. DOI: 10.2307/3235884
- Ren S., Chen X., Pan C. 2022. Temperature-precipitation background affects spatial heterogeneity of spring phenology responses to climate change in northern grasslands (30°N–55°N). *Agricultural and Forest Meteorology* 315: 108816. DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.108816
- Sanderson E.D., Pears M.L. 1913. The relation of temperature to insect life. *New Hampshire College Agricultural Experiment Station Technical Bulletin* 7: 1–125.
- Shikhova T.G., Soloviev A.N. 2021. Dynamics of the Borders of Phenological Seasons in the East of the Russian Plain (Kirov, Russia). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki* 163(2): 289–301. DOI: 10.26907/2542-064X.2021.2.289-301 [In Russian]
- Shinkarenko S.S. 2019. Fire regime of North Caspian landscapes according to the data of active burning centers. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* 16(1): 121–133. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-121-133 [In Russian]
- Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N. 2019. Analysis of steppe fires long-term dynamics in Volgograd Region. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* 16(2): 98–110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110 [In Russian]
- Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. 2020. NDVI seasonal dynamics of the North Caspian pasture landscapes from MODIS data. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* 17(4): 179–194. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194 [In Russian]
- Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Gordienko O.A., Dubacheva A.A., Omarov R.S. 2020. Analysis of the effect of soil sealing and landscaping on the thermal field of the Volgograd agglomeration from MODIS data. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* 17(5): 125–141. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-125-141 [In Russian]
- Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Gordienko O.A., Dubacheva A.A., Omarov R.S. 2021. The Relationship between the Seasonal Dynamics of Surface Temperature and NDVI in Urbanized Areas of an Arid Zone. The Case of the Volgograd Agglomeration. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics* 57(12): 1562–1571. DOI: 10.1134/S0001433821120197
- Solnyshkina E.N. 2018. Spring Meadow Saffron *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. on the site of the «Yamskaya steppe» of the State Nature Reserve «Belogorye». In: *Regional botanical research as a basis for biodiversity conservation*. Voronezh: Nauchnaya kniga. P. 152–155. [In Russian]
- Tzvelev N.N. 2008. Spring Meadow Saffron – *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng. In: *Red Data Book of Russian Federation (plants and fungi)*. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. P. 339–340. [In Russian]
- Ushakov M.V., Nedosekina T.V. 2017. Method for the evaluation of thermal requirements for development based on phenological observations. *Russian Journal of Ecology* 48(5): 409–416. DOI: 10.1134/S1067413617050137
- Ushakov M.V., Nedosekina T.V. 2019. Peculiarities of phenology and thermal requirements for development of two Clematis L. (Ranunculaceae) species under conditions of Galich'ya Gora Nature Reserve (Lipetsk Region). *Zhurnal Obshchei Biologii* 80(2): 135–144. DOI: 10.1134/S0044459619020076 [In Russian]
- Wetschnig V.W. 1992. Chromosomenzahlen Kärntner Gefäßpflanzen (Teil 4): Karyotymorphologie von *Bulbocodium vernalis* L. (Colchicaceae). *Jahrgang. Klagenfurt. Carinthia* 182(102): 535–544.
- Willis C.G., Ellwood E.R., Primack R.B., Davis C.C., Pearson K.D., Gallinat A.S., Yost J.M., Nelson G., Mazer S.J., Rossington N.L., Sparks T.H., Soltis P.S. 2017. Old Plants, New Tricks: Phenological Research Using Herbarium Specimens. *Trends in Ecology and Evolution* 32(7): 531–546. DOI: 10.1016/j.tree.2017.03.015
- Wu W., Sun Y., Xiao K., Xin Q. 2021. Development of a global annual land surface phenology dataset for 1982–2018 from the AVHRR data by implementing multiple phenology retrieving methods. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation* 103: 102487. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102487
- Yang S., Logan J., Coffey D.L. 1995. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agricultural and Forest Meteorology* 74(1–2): 61–74. DOI: 10.1016/0168-1923(94)02185-M
- Zhang H., Yuan W., Liu Sh., Dong W., Fu Y. 2015. Sensitivity of flowering phenology to changing temperature in China. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 120(8): 1658–1665. DOI: 10.1002/2015JG003112
- Zhu G., Wang X., Xiao J., Zhang K., Wang Y., He H., Li W., Chen H. 2022. Daytime and nighttime warming has no opposite effects on vegetation phenology and productivity in the northern hemisphere. *Science of the Total Environment* 822: 153386. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153386
- Zorina A.A., Shuyskaya E.A., Kurakina I.V., Volkov V.P., Ogurtsov S.S., Stepanov S.N. 2020. Climatic Causes of Plant Flowering Time Displacement in the Central Forest Reserve. *Povolzhskiy Journal of Ecology* 1: 52–65. DOI: 10.35885/1684-7318-2020-1-52-65 [In Russian]
- Zubtsova T.V., Ostapenko V.M., Mulenikova E.G. 2002. Influence of meteorologic conditions on the dynamics of *Anemonoides ranunculoides* (L.) Holub phenologic development. *Industrial Botany* 2: 157–161. [In Russian]

INFLUENCE OF THE CLIMATIC FACTORS ON THE MASS FLOWERING DATES OF *BULBOCODIUM VERSICOLOR* (MELANTHIACEAE) AT THE SOUTH-EASTERN BORDER OF ITS RANGE

Stanislav S. Shinkarenko 

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of RAS, Russia
e-mail: shinkarenkos@yfac.ru

Under conditions of climate change, phenological studies of vegetation are of particular importance. Most of the current research are carried out in Protected Areas (PAs), network of phenological stations, agricultural lands, nurseries, and botanical gardens. Studies based on remote sensing data do not take into account the species diversity of the vegetation cover. This study is aimed to determine regularities of the timing of *Bulbocodium versicolor* mass flowering at the southeast border of its range. The studied *B. versicolor* population is located in the vicinity of the city Volgograd, which makes it available for research. At the same time, the *B. versicolor* population is under constant anthropogenic pressure. Understanding the phenological features of this species and regularities of the timing of mass flowering (the period of highest vulnerability) will allow us to organise the protection of the *B. versicolor* population during this period. The study is based on data about the beginning of mass flowering dates, obtained during surveys of 2007–2020 with a possible error of 2–7 days, as well as an archive of weather data of the Volgograd weather station. The average start date of mass flowering is 24 March \pm 12 days. The range between the earliest and latest dates exceeds a month. We have found a statistically significant correlation between the start date of *B. versicolor* mass flowering and the date of snow cover destruction, as well as dates of stable transition of the maximum air temperature over 0°C, and the average daily temperature, over 0°C and over 3°C. Over the period 2007–2020, no statistically significant trends were found for either dates of *B. versicolor* mass flowering or dates of main meteorological phenomena. Almost every year, after the start of *B. versicolor* mass flowering, frosts occur on the soil and in the air, and snowfalls take place regularly. This may be one of the factors which cause a lower seed regeneration in this *B. versicolor* population compared to the ones located northward, since the temperature drop during the flowering period contributes to the depressive state of the *B. versicolor* population.

Key words: climate change, *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor*, Lower Volga Region, phenology, Spring meadow saffron, Volgograd Region