

ФЕНОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКЛИК РАННЕЦВЕТУЩИХ РАСТЕНИЙ БУРЯТИИ НА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Д.В. Санданов¹, Э.А. Батоцыренов²

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, Россия. e-mail: denis.sadanov@gmail.com

²Байкальский институт природопользования СО РАН,
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, Россия, e-mail: edikbat@gmail.com

Приведены сведения по динамике цветения раннецветущих растений Бурятии. Сделан анализ фенологических данных с интервалом в 50 лет, а также динамики цветения *Pulsatilla patens* с конца XIX по начало XXI в. Для всех изученных видов (*P. patens*, *Rhododendron dauricum*, *Amygdalus pedunculata*) отмечаются фенологические сдвиги цветения на более ранние сроки, что связано с трендом повышения температуры воздуха. Выполнено картографирование цветения *P. patens* в разных районах Бурятии и выявлены эколого-географические особенности цветения вида. Использование фенологической информации на основе гербарных образцов *A. pedunculata* показало перспективность такого подхода для оценки сезонного развития вида.

Ключевые слова: фенология, раннецветущие растения, *Pulsatilla patens*, *Rhododendron dauricum*, *Amygdalus pedunculata*, Бурятия.

ВВЕДЕНИЕ

Современные исследователи заинтересованы в изучении фенологии в связи с изменениями климата, сроков наступления и продолжительности сезонов, поэтому проводится подробная оценка фенологического отклика растений на климатические изменения (Menzel et al., 2006, 2020; Cleland et al., 2007; Richardson et al., 2013). При наличии общих совпадающих тенденций в изменениях сроков наступления весенних явлений наблюдаются региональные различия, которые могут быть обусловлены биологическими особенностями прохождения фенофаз растениями (Минин, 2011). На фенологию растений Забайкалья большое влияние также оказывают микроклиматические условия, экспозиция и крутизна склонов, закрытость от ветров (Дулепова, 1993). Поэтому на сегодня важно развивать региональные фенологические наблюдения в различных биомах совместно с изучением особенностей биологии и экологии исследуемых растений.

К сожалению, национальная фенологическая сеть в России в последние годы функционирует неэффективно, информация разрознена, наблюдения в основном проводятся под эгидой фенологических секций региональных отделений Русского географического общества (РГО), а также работников заповедников, метеорологических станций и фенологов-любителей (Федотова, 2012; Крюкова, Данченко, 2013). Появление в последние годы различных онлайн-баз данных по климату и фе-

нологии (в том числе для России) позволяет проводить комплексный анализ в различных географических регионах. Также стоит отметить важность архивной фенологической информации, которая может быть основой для сравнения сезонного ритма растений с современными данными (Санданов, Батоцыренов, 2019а). В России собрано много ценных фенологических данных во временном срезе более 100 лет. Так, в архивах РАН в настоящее время хранятся материалы фенологических наблюдений Фенологической комиссии Географического общества для различных регионов России за 1855–1987 гг. (Федотова, 2012). Обработка большого массива данных позволит оценить характер происходящих фенологических изменений как на уровне видов, так и сообществ. При предварительном исследовании в этом направлении (Ovaskainen et al., 2013), основанном на многолетних материалах “Летописи природы”, выявлен различный отклик в фенологии растений, грибов и групп животных на климатические изменения. Несмотря на это, фенологические сдвиги для большей части биоты (за исключением грибов) синхронны, что позволяет предполагать комплексные изменения на экосистемном уровне (Ovaskainen et al., 2013). Наши исследования являются обобщением архивных и современных фенологических данных по раннецветущим растениям Бурятии в аспекте оценки трендов происходящих изменений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обработку и анализ архивных фенологических данных проводили на основе фондов Государственного архива Республики Бурятия и Кяхтинского краеведческого музея им. академика В.А. Обручева. Проанализирован большой массив данных с 1923 по 1969 г., включая записи и фенонаблюдения И.С. Котова и многочисленных фенокорреспондентов со всех районов Бурятии. Подробная информация о фенологических исследованиях в Бурятии под руководством И.С. Котова опубликована нами ранее (Батоцыренов, Санданов, 2018; Санданов, Батоцыренов, 2019). Особое внимание уделялось рядам долговременных фенологических наблюдений в окрестностях г. Улан-Удэ, которые охватывают 40-летний интервал (с 1930 по 1969 г.), а также фенологические данные с окрестностей г. Кяхта с 1923 по 1969 г. Для современного периода использованы фенологические наблюдения авторов, часть данных по датам зацветания растений рассчитана по сумме эффективных температур на основе суточных метеоданных.

В исследовании также задействованы фенологические данные из других источников: публикации, онлайн-материалы, ранее неопубликованные данные авторов. Для оценки цветения *Amygdalus pedunculata* Pall. использована информация из гербарных коллекций: Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (УУН), Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН (IRK), Иркутского государственного университета (IRKU), Московского государственного университета (MW) – <https://plant.depo.msu.ru/> (цифровой гербарий), Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (NS и NSK) – <http://herb.csbg.nsc.ru:8081/> (цифровой гербарий). В гербарии Иркутского государственного университета представлены гербарные образцы цветущих растений, собранные в 1912 г.: 28 мая – сборы В.И. Смирнова возле Новоселенгинска, 2 июня – сборы М.Р. Томина возле Гусиноозерска. Мы не включили эти данные в обработку, так как не удалось найти дополнительных сведений по цветению изучаемого вида с 1912 по 1985 г. Тем не менее можно отметить, что гербарные коллекции представляют собой уникальные данные, в том числе и для оценки фенологии растений.

Для определения дат начала цветения *A. pedunculata* использован унифицированный метод определения фенологических фаз у гербарных образцов (Pearson, 2019). Визуальная оценка фенофаз (рис. 1) дополнялась материалами по двум метеостанциям: пос. Новоселенгинск, среднемесячные показатели температуры воздуха (<http://en.tutiempo.net/climate>), данные с 1985–2015 г. и

г. Кяхта, суточные показатели температуры воздуха (<http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#>), данные за 1985–2019 гг. (Булыгина и др., № 2014620942). Массивы метеоданных для расчета дат цветения *Pulsatilla patens* (G. Pritzel) Juz. в окр. г. Улан-Удэ с 2000 по 2005 г. также загружены с сайта <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#>.

Метод определения фенофаз является относительно простым (Pearson, 2019). Например, первый гербарный образец *Amygdalus pedunculata* собран в пору массового цветения, ему присвоен балл 5 фенофазы, что обозначает пик цветения для этого вида (см. рис. 1). Можно отметить, что на ветвях распустились все цветки и не наблюдается бутонов. Согласно этим данным и анализу показателей температуры воздуха с окрестных метеостанций за весенние месяцы 2004 г. с учетом накопления суммы эффективных температур с 254 до 278 °С (рассчитано по данным Н.В. Екимовой, С.Г. Рудых, 2007), средняя фенодата начала цветения миндаля приходится на 15 мая. На втором гербарном образце *A. pedunculata* на ветках растения наблюдается около 75 % плодов и около 25 % цветков, что соответствует баллу 8 фенофазы (почти полное завязывание плодов и активная вегетация). Это позволяет рассчитать, что конец цветения вида в 1965 г. пришелся на период с 12 по 16 июня. В нашем исследовании проанализированы гербарные образцы, собранные только в период цветения. Все фенологические даты были трансформированы в дни года и использовались в последующем анализе. Собственные фенологические наблюдения за цветением *A. pedunculata* проводились в окрестностях пос. Селендума и Новоселенгинска с 2004 по 2020 г. в соответствии с методикой И.Н. Бейдеман (1974).

Подготовка фенологических карт цветения *Pulsatilla patens* на территории Бурятии проводилась на основе стандартных методов (Гвоздик, Михайлов, 1965; Шульц, 1981). Отрисовка полигонов с датами цветения вида выполнена с применением ГИС-пакета ArcGIS 10.2 с использованием в качестве основы рельефа территории, дополненной распределением изотерм из “Атласа Забайкалья” (1967) и данными значений среднегодовой температуры с сайта www.worldclim.org, усредненных за временной интервал 1950–2000 гг. Рассмотрены даты цветения *P. patens* с 1930 по 1965 г. (Котов, 1968), для современного периода взяты расчетные данные по сумме эффективных температур на основе суточных метеоданных 14 метеостанций Бурятии (дополнительно использованы метеостанции Хамар-Дабан и Чара) за период с 2010 по

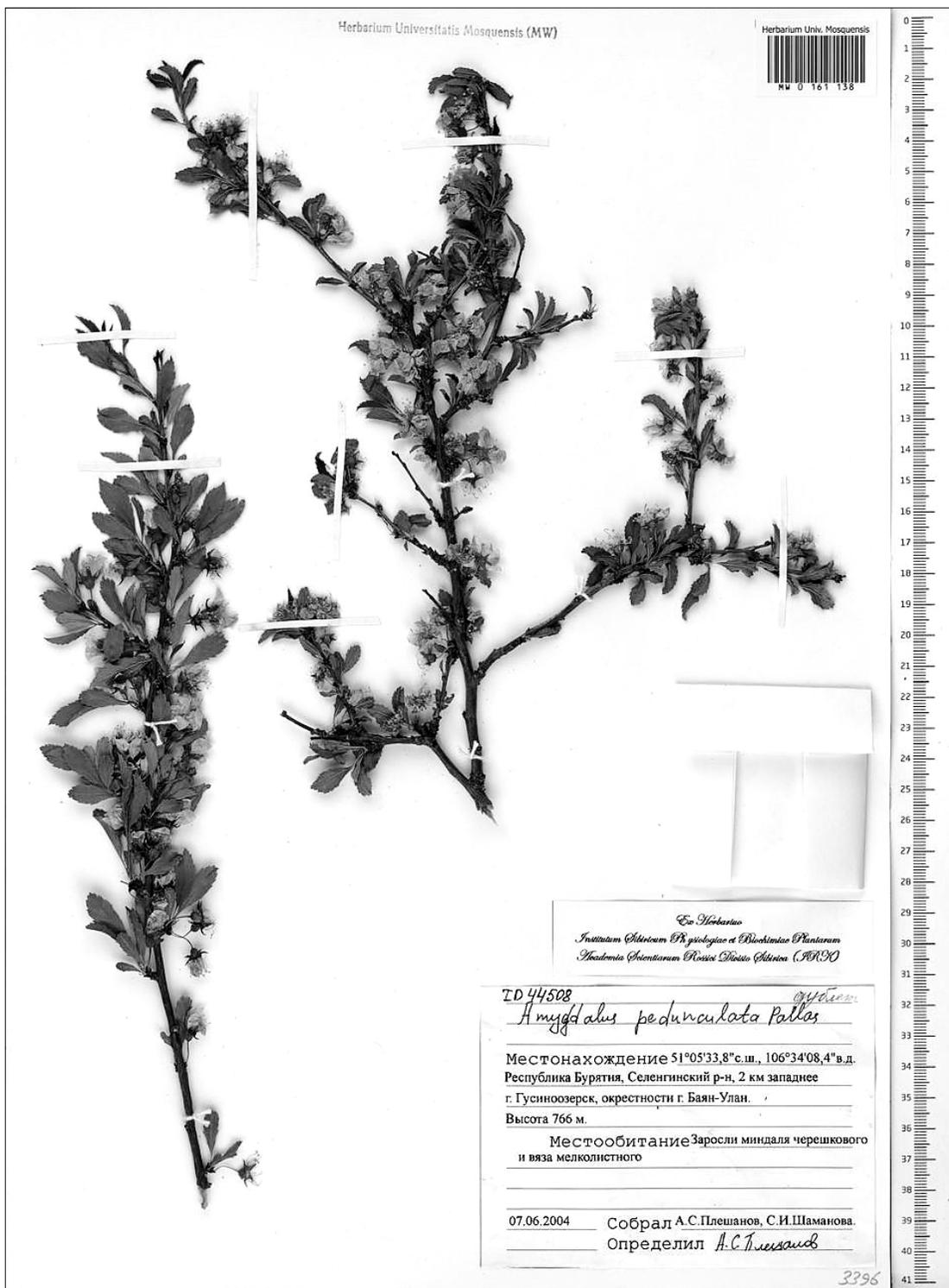


Рис. 1. Гербарные образцы *Amygdalus pedunculata*.

Fig. 1. Herbarium specimens of *Amygdalus pedunculata*.

2018 г. и фенологические наблюдения в различных географических пунктах Бурятии. Если ранние и современные даты цветения вида попадали в единый полигон, то тогда данные объединяли. При отсутствии информации для определенного временного периода проводили пересчет дат цветения

с учетом данных близлежащих полигонов и показателей в сходных эколого-географических условиях (Гвоздик, Михайлов, 1965).

Периодизация наступления фенологических фаз для изученных растений проводилась согласно исследованиям Б.И. Дулеповой (1993).



Рис. 1 (окончание).

Fig. 1 (continued).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Весеннее развитие растительности на территории Бурятии начинается цветением прострела многонадрезного *P. patens*. Это первый период весны: сходит снежный покров, почва оттаивает на глубину пахотного слоя, набухают почки у многих деревьев и кустарников. При сравнительном анализе сроков зацветания *P. patens* в окр. Улан-Удэ за 50-летний промежуток выявлены фенологические сдвиги в сторону более раннего наступления фенофазы (рис. 2). Зацветание растений за этот пе-

риод сдвинулось на более ранние сроки, в среднем на 7 дней.

И.С. Котовым рассчитаны даты зацветания *P. patens* в окрестностях г. Кяхта с 1877 по 1894 г. на основе климатогеографической характеристики из книги Ю.Д. Талько-Грынцевича "Климат Троицко-савска-Кяхты в гигиеническом отношении" (1897). Нами дополнительно обработаны архивные данные по цветению вида в окрестностях Кяхты: материалы И.С. Котова (1923–1929 гг.) и А.А. Москов-

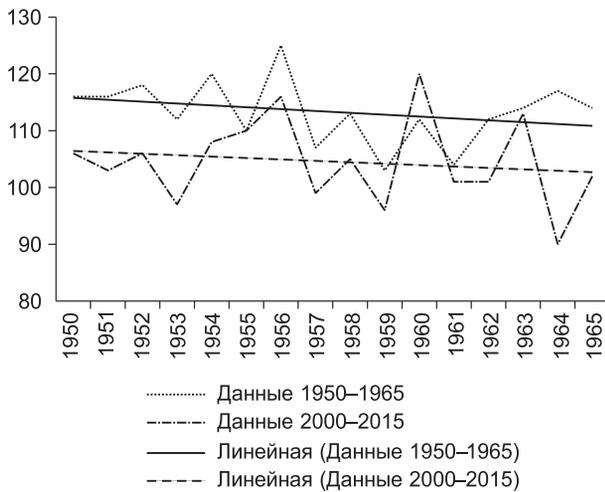


Рис. 2. Динамика цветения *Pulsatilla patens* в окрестностях Улан-Удэ.

По оси ординат указаны дни года, по оси абсцисс – годы наблюдений (данные с 2000 по 2015 г. дублируют ранние данные на этой же оси). Данные за 1950–1965 гг. – наблюдения И.С. Котова, данные за 2006–2015 гг. – наблюдения Д.В. Санданова, данные за 2000–2005 гг. рассчитаны на основе суммы эффективных температур.

Fig. 2. Blooming dynamic of *Pulsatilla patens* in Ulan-Ude city.

Y-axis – day of the year, X-axis – years of observations (data for 2000 to 2015 duplicated previous phenological data on the same axis). Data from 1950 to 1965 – observations of I.S. Kotov, data from 2006 to 2015 – observations of D.V. Sandanov, data from 2000 to 2005 have been calculated on the base of the sum of effective temperatures.

ского (1963–1969 гг.). На основе современных методических по сумме эффективных температур рассчитаны даты зацветания за 2010–2018 гг. в окр. Кяхты (см. таблицу). Этот временной промежуток соответствует наиболее значительным изменениям климата.

Следует сказать, что за 140 лет наблюдений отмечен фенологический сдвиг в сторону более ранних сроков зацветания растений. Причем этот тренд стал отчетливее последние 50 лет. В целом за изученный временной промежуток особи вида стали зацветать на 19 дней раньше.

Это согласуется с расчетными данными и фенонаблюдениями за цветением вида в разных районах Бурятии (рис. 3). Самое раннее зацветание *P. patens* зафиксировано на юге Бурятии в окр. г. Кяхты. Потом идет продвижение на север и северо-запад в лесостепные районы. В Тункинском районе (центр в пос. Кырен) вначале наблюдается цветение в котловине, которое через 3–6 дней переходит в горы. Несколько позднее начало цветения вида отмечается в Мухоршибирском, Хоринском, Кижингинском районах и в Баргузинской котловине. Через 7–10 дней начинается цветение вида на Витимском плоскогорье. Самые поздние даты начала цветения отмечены на станции Мысовая, Усть-Баргузине, на Хамар-Дабане и в Баргузинском заповеднике. Это связано с влиянием Байкала и более высоким снежным покровом, который сходит весной гораздо позже.

Второй период весны в Бурятии начинается с цветением рододендрона даурского (*Rhododendron dauricum*). По данным И.С. Котова, самые ранние даты зацветания вида отмечены 2 мая 1967 г. и 3 мая в 1939 и 1943 гг. Самая поздняя дата – 29 мая – относится к особенно поздней весне 1931 г. Массовое цветение растений происходит в 3-ю декаду мая, а в период холодной и поздней весны – в 1-ю декаду июня. Согласно И.С. Котову, среднемноголетняя дата начала цветения *R. dauricum* в окр. г. Улан-Удэ приходится на 13 мая. По результатам наблюдений за 12-летний период (частично с 2006 по 2020 г.) выявлен сдвиг среднемноголетней даты начала цветения вида на 2 мая, что соответствует наиболее ранним датам цветения 50 лет тому назад.

После цветения *R. dauricum* в конце 2-й и начале 3-й декады мая в долинах рек, по островам цветет *Padus avium* Miller, а в степных районах по теплым каменистым склонам гор – *Amygdalus pedunculata* Pall. и *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. В последней декаде мая в южных и центральных районах Бурятии начинается цветение *Malus baccata* (L.) Borkh. Цветение этого вида является сигналом окончания весенних заморозков и начала лета (Котов, 1968).

Особенности цветения *Pulsatilla patens* в окрестностях г. Кяхта (с конца XIX по начало XXI в.)

Blooming features of *Pulsatilla patens* around Kyakhta city (from the end XIX century till the beginning of XXI century)

Источник данных	Временной интервал, годы	День года (среднемноголетние данные)	Средняя фенодата	Пределы дат зацветания вида в указанные годы
Талько-Грынцевич Ю.Д.	1877–1894	117.3	28 апреля	23.IV–02.V
Котов И.С.	1923–1929	115.1	26 апреля	11.IV–03.V
Московский А.А.	1963–1969	107.4	17 апреля	11.IV–27.V
Расчетные данные	2010–2018	98.8	9 апреля	27.III–23.IV

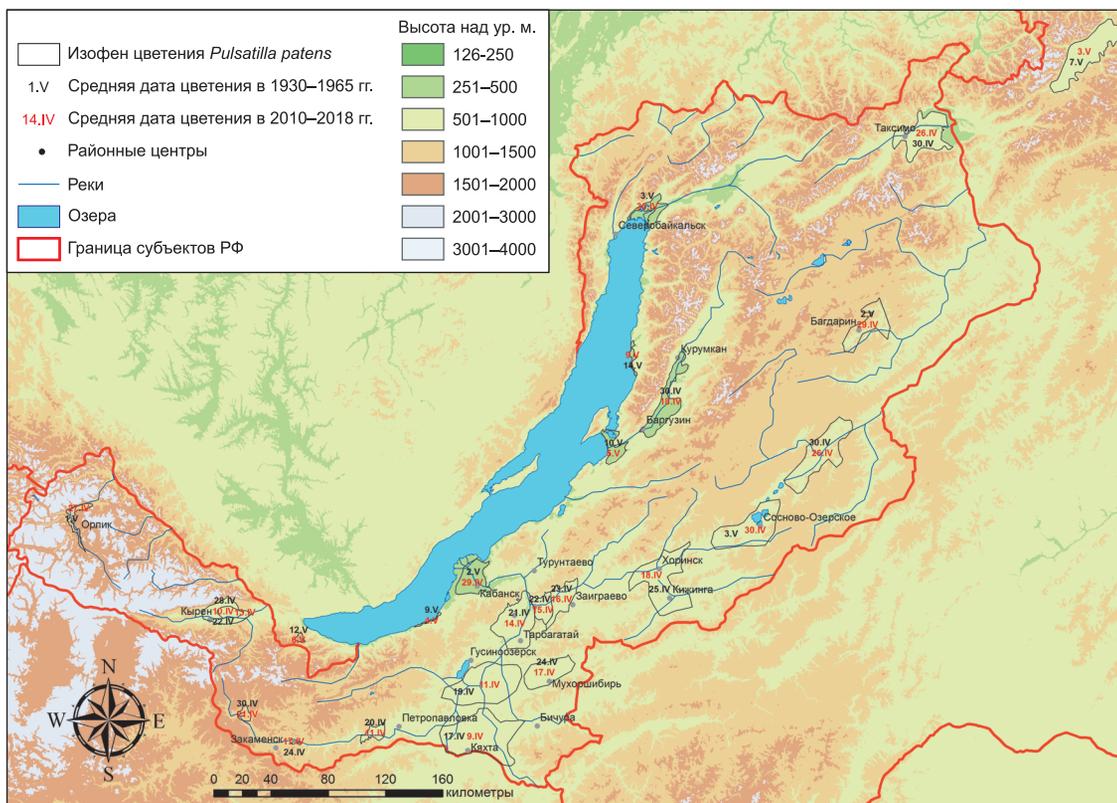


Рис. 3. Картограмма начала цветения *Pulsatilla patens* в различных районах Бурятии.

Fig. 3. Schematic map of beginning of blooming of *Pulsatilla patens* in different regions of Buryatia.

Наиболее привлекательным и ярким моментом весны в степных районах Бурятии является период цветения миндаля черешкового *Amygdalus pedunculata*. Это декоративный кустарник с крупными розовыми или белыми цветками (рис. 4). В России вид отмечен только на территории Бу-

рияти: Селенгинский район – на хребтах Моностой (окр. с. Новоселенгинск), Боргойский (окр. пос. Селендума и с. Билютай); Бичурский – в отрогах хр. Малханский (вблизи с. Тамир); Кяхтинский – у развилки дороги на Усть-Киран (по дороге из г. Кяхта в с. Киран) на степных каменистых

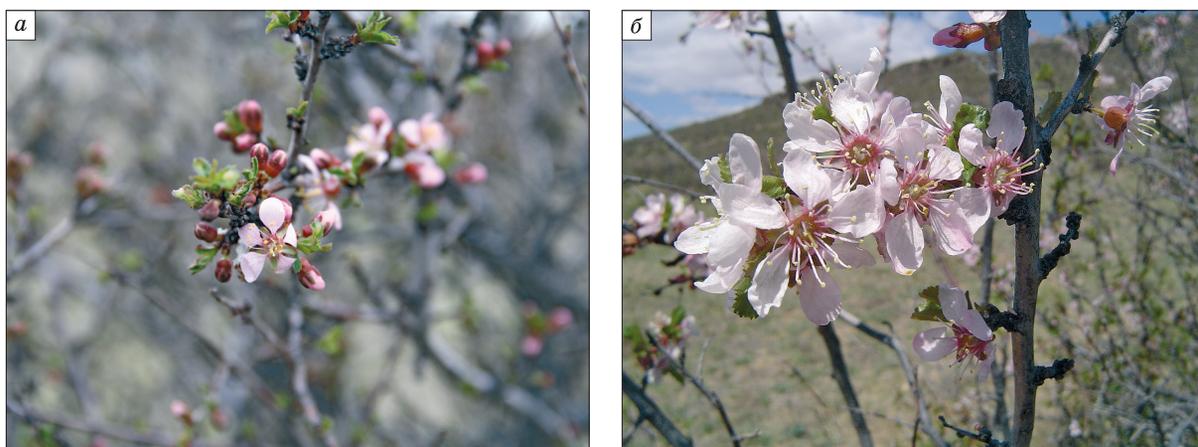


Рис. 4. Фенофазы *Amygdalus pedunculata*:

а – начало цветения *A. pedunculata* в окр. Новоселенгинска, 29.04.2014. Фото Э.А. Батоцыренова; б – массовое цветение *A. pedunculata* в окр. Селендумы, 27.05.2008. Фото Д.В. Санданова.

Fig. 4. Phenological phases of *Amygdalus pedunculata*:

а – Beginning of blooming of *A. pedunculata* near Novoselenginsk settlement, 29.04.2014. Photo E.A. Batotsyrenov; б – Mass blooming of *A. pedunculata* near Selenduma settlement, 27.05.2008. Photo of D.V. Sandanov.

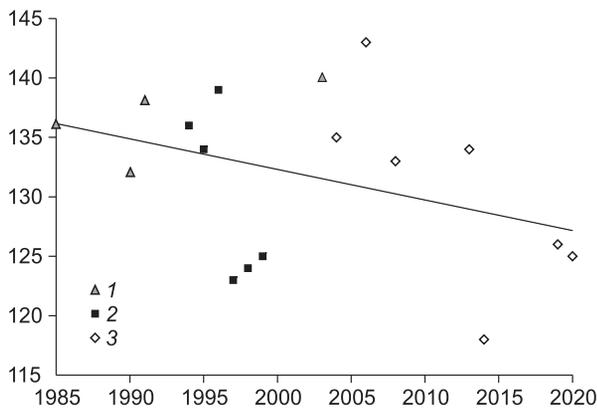


Рис. 5. Динамика цветения *Amygdalus pedunculata* на Селенгинском среднегорье.

По оси ординат указаны дни года, по оси абсцисс – годы наблюдений. 1 – гербарные данные; 2 – данные Н.В. Екимовой и С.Г. Рудых (2007); 3 – данные авторов.

Fig. 5. Blooming dynamic of *Amygdalus pedunculata* on Selenga midlands.

Y-axis – day of the year, X-axis – years of observations. 1 – herbarium data; 2 – data from N.V. Ekimova and S.G. Rudykh (2007); 3 – authors data.

склонах и скалах, в 6 км к западу от с. Кудара-Сомон в петрофитной кустарниковой степи (Красная книга..., 2013).

Наши фенологические наблюдения проводились в окрестностях поселков Селендума и Новоселенгинск, где располагаются крупные популяции *A. pedunculata* (см. рис. 4). По результатам

обобщения различных данных по началу цветения миндаля черешкового с 1985 по 2020 г. также выявлен фенологический сдвиг на более ранние сроки (рис. 5). Если ранее средняя дата начала цветения растений приходилась на 17 мая, то в последние 10 лет сроки цветения сдвинулись на 10 дней раньше и отмечаются сейчас в среднем 7 мая.

ОБСУЖДЕНИЕ

Ранневесенний подсезон в степи Забайкалья начинается с зацветания *Pulsatilla turczaninowii* Krylov et Serg., *Gagea pauciflora* (Turcz. ex Trautv.) Ledeb., *Physochlaina physaloides* (L.) G. Don, *Euphorbia karoii* Freyn, на лугах – *Cimicifuga aquatica* (L.) Zuev, *C. pseudoaquatica* (Kusn.) Zuev, *Primula farinosa* L. (Попова, 2011), а в лесах – *Populus tremula* L., *Rhododendron dauricum* L., *Pulsatilla patens* (Радыгина, 1970).

В современных условиях начало цветения *Pulsatilla patens* в окр. г. Улан-Удэ (сосновый лес в пади Медведчиков Ключ) приходится на 15 апреля (см. рис. 2), тогда как среднеголетние значения, по данным И.С. Котова (1968), указывали на 22 апреля. Несмотря на большой интервал между датами начала цветения в разные годы (с 1950 по 1965 г. и с 2000 по 2015 г.), линейные тренды за полувековой период остаются сходными и направлены на более раннее наступление цветения вида. Можно отметить, что фенологический сдвиг зацветания *P. patens* в окр. г. Улан-Удэ является относительно небольшим и составляет 7 дней. Тогда как для более северных широт в условиях Верхней Колымы, по 15-летним данным (частично с 1991 по 2013 г.), выявлено смещение начала цветения на более ранние сроки на 17 дней (Синельникова, Пахомов, 2015). В Баргузинском заповеднике за последние 40 лет отмечается более раннее зацветание этого вида лишь на 4,5 дня (Санданов и др., 2019). Все указанные наблюдения за цветением вида проводились в лесных сообществах, и характер наблюдаемых фенологических сдвигов свидетельствует об имеющихся региональных отличиях.

Ранее нами отмечалось, что зацветание *P. patens* в окр. г. Улан-Удэ в большей степени связано с температурными условиями апреля или марта-апреля, чем с показателями осадков (Санданов, Батоцыренов, 2019а). Многочисленные исследования отмечают, что температурные условия являются определяющими для фенологии растений в различных географических регионах (Rathcke, Lacey, 1985; Vadeck et al., 2004; Menzel et al., 2006; и др.). Именно процессы глобального потепления климата оказывают непосредственное влияние на особенности фенологии растений, в частности сдвиг сроков цветения видов на более раннее время.

Наблюдаемые сдвиги цветения *P. patens* на более ранние сроки в окр. г. Улан-Удэ (см. рис. 2) и Кяхте (см. таблицу), несомненно, связаны с процессами потепления климата. Такие тренды прослеживаются и на региональном уровне для территории Забайкалья (Обязов, 2010), а для Байкальского региона отмечаются быстрые темпы потепления (Куликов и др., 2014). В последние десятилетия в Забайкалье происходит смещение изотерм на север (Обязов, 2010), что может обуславливать изменения в фенологии растений.

Сравнение ранних и современных данных показывает большие сдвиги цветения *P. patens* в степных и лесостепных районах Бурятии (7–9 дней), тогда как в горных районах и вблизи оз. Байкал наблюдается более раннее зацветание растений на 4–5 дней (см. рис. 3). Сходные закономерности изменения сроков наступления цветения растений зафиксированы для высотного градиента (снизу вверх), но фенологические сдвиги на пространственно-временной шкале в значительной степени

различаются. На самых низких и больших высотах отмечается более раннее зацветание видов, тогда как на средних высотах наоборот выявлено запаздывание в цветении (Rafferty et al., 2020). При обзоре исследований выявлены более выраженные фенологические сдвиги для высокогорных видов растений при резком изменении климатических условий на больших высотах (Chmura et al., 2019). Выявленные нами географические закономерности зацветания *P. patens* в целом согласуются с ранними картографическими данными начала фенологического лета в Забайкалье (Гвоздик, Михайлов, 1965).

Сдвиг начала цветения *R. dauricum* в окрестностях Улан-Удэ гораздо выше, чем у прострела многонадрезного, и составляет 11 дней. Резкое повышение температур воздуха весной (особенно с 2000-х годов) способствовало не только сдвигу фенологических фаз у растений, но и сократило сроки очередности цветения раннецветущих растений. В настоящее время *R. dauricum* в среднем зацветает на 12–16 дней позже от начала цветения *P. patens*, тогда как 50 лет тому назад этот интервал составлял 22 дня. Это подтверждается проведенным корреляционным анализом сроков начала цветения вида с метеоданными (Санданов, Батоцыренов, 2019а). Для изучаемого вида наступление фенофаз в большей степени связано с накоплением определенных сумм эффективных температур. При наличии весной череды теплых дней со средней температурой выше нуля зацветание растений происходит в более ранние сроки.

Детальные фенологические исследования в трех популяциях *A. pedunculata* ранее проведены

Н.В. Екимовой и С.Г. Рудых (2007). Так, массовое цветение изучаемого вида приходится на 23–25 мая. Период цветения особей в популяциях миндаля черешкового является растянутым – от 18 до 35 дней. Это связано с фенологической неоднородностью по срокам начала цветения: раннецветущие (30 % от числа всех особей в популяциях), среднецветущие (59 %) со сроками цветения на 7–8 дней позднее, чем у первого типа, и позднецветущие (не более 11 %) с запаздыванием цветения еще на неделю. Несмотря на смещение фенофаз в отдельные менее благоприятные по климатическому режиму годы на 10–14 дней, особи *A. pedunculata* всегда проходят полный цикл развития и формируют полноценные семена (Екимова, Рудых, 2007).

В последние годы гербарные данные широко используются для оценки фенологических изменений и их связи с параметрами окружающей среды (Primack et al., 2004; Willis et al., 2017; Корр et al., 2020). Однако метод изучения фенологии на основе гербария является эффективным при наличии предварительных наблюдений за сезонным развитием видов и различных параметров окружающей среды. Так, ранее проведенные детальные исследования фенологии *A. pedunculata* были полезными при анализе гербарных сборов. Несмотря на растянутый период и фенологическую неоднородность цветения растений, рассчитанные суммы эффективных температур в совокупности с доступными метеоданными позволяют оценить сроки начала зацветания. Этот метод также можно широко использовать для оценки фенологии эфемероидов, так как для данной группы растений характерен сравнительно короткий срок цветения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При совокупном анализе архивных и современных данных по фенологии раннецветущих растений Бурятии (*Pulsatilla patens*, *Rhododendron dauricum*, *Amygdalus pedunculata*) выявлено смещение цветения на более ранние сроки. Наблюдаемые фенологические сдвиги различны по продолжительности, связаны с региональными особенностями и характером условий местообитаний видов. Тренды более раннего наступления фенофаз у исследованных видов связаны с потеплением климата. Отмечается перспективность использования гербарных данных для изучения особенностей сезонного ритма растений.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Государственного архива Республики Бурятия и Кяхтинского краеведческого музея им. академика В.А. Обручева за помощь в работе с архивными материалами, а также кураторам гербариев за возможность работы с коллекциями.

Исследования выполнены при финансовой поддержке грантов РГО № 23/2019-Н5 и РФФИ № 20-45-380009. Работа Д.В. Санданова проводилась в рамках государственного задания № АААА-А17-117011810036-3. Работа Э.А. Батоцыренова проводилась в рамках государственного задания БИП СО РАН. Исследования выполнены с использованием ресурсов ЦКП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская область). М.; Иркутск, 1967. 176 с.
Батоцыренов Э.А., Санданов Д.В. Вклад И.С. Котова в фенологические исследования в Бурятии // Архивы в истории. История в архивах. Иркутск, 2018. С. 123–131.

- Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск, 1974. 155 с.
Булгыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологиче-

- ских станциях России и бывшего СССР (ТТТТ). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942.
- Гвоздик Л.Н., Михайлов Ю.П.** Методы и опыт картографирования сезонной динамики ландшафтов Забайкалья // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. 1965. 10:23–31.
- Дулупова Б.И.** Степи горной лесостепи Даурии и их динамика. Чита, 1993. 395 с.
- Екимова Н.В., Рудых С.Г.** Сезонный ритм развития *Armeniaca sibirica* и *Amygdalus pedunculata* (Rosaceae) в Западном Забайкалье // Раст. ресурсы. 2007. 43(2):18–23.
- Котов И.С.** Сезонные явления в природе Бурятии. 2-е изд. Улан-Удэ, 1968. 80 с.
- Красная книга** Республики Бурятия: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. Улан-Удэ, 2013. 668 с.
- Крюкова К.А., Дагченко А.М.** Фенологические наблюдения в России: краткая история развития // Вестн. Том. гос. ун-та. 2013. 377:192–195.
- Куликов А.И., Убугунов Л.Л., Мангатаев А.Ц.** О глобальном изменении климата и его экосистемных последствиях // Аридные экосистемы. 2014. 20(3):5–13.
- Минин А.А.** Некоторые аспекты взаимосвязей наземных экосистем с изменяющимся климатом // Успехи соврем. биологии. 2011. 131(4):407–415.
- Обязов А.А.** Адаптация к изменениям климата: региональный подход // География и природ. ресурсы. 2010. 2:34–39.
- Попова О.А.** Адаптационные особенности ранневесенних раннецветущих растений Восточного Забайкалья // Учен. зап. ЗабГГПУ. 2011. 1(36):102–110.
- Радыгина В.И.** Сезонные явления в сосновом лесу // Флора, растительность и растительные ресурсы Забайкалья и сопредельных областей: Материалы Первой науч. конф. Чита, 1970. С. 60–61.
- Санданов Д.В., Батоцыренов Э.А.** Особенности весеннего цветения растений Бурятии: анализ архивных фенологических материалов // Вестн. Вост.-Сиб. гос. ин-та культуры. 2019а. 2(10):38–46.
- Санданов Д.В., Батоцыренов Э.А.** Обзор начальных фенологических исследований в Бурятии и перспективы их развития при использовании современных методов // Изв. Алт. отд-ния РГО. 2019б. 2(53):101–106.
- Санданов Д.В., Бухарова Е.В., Росбах С., Хартиг Ф., Куркина И.И.** Тренды многолетних фенологических наблюдений за растениями Баргузинского заповедника и их связь с изменениями климата // Роль научно-исследовательской работы в управлении и развитии ООПТ: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск, 2019. С. 175–180.
- Синельникова Н.В., Пахомов М.Н.** Сезонная жизнь природы Верхней Колымы. М., 2015. 329 с.
- Талько-Грынчевич Ю.** Климат Троицкосавска-Кяхты в гигиеническом отношении. Иркутск, 1897. 67 с.
- Федотова В.Г.** История и современное состояние отечественной фенологии // Биосфера. 2012. 4(1):69–75.
- Шульц Г.Э.** Общая фенология. Л., 1981. 188 с.
- Badeck F.W., Bondeau A., Böttcher K., Doktor D., Lucht W., Schaber J., Sitch S.** Responses of spring phenology to climate change // New Phytol. 2004. 162(2):295–309. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01059.x>
- Chmura H.E., Kharouba H.M., Ashander J., Ehlman S.M., Rivest E.B., Yang L.H.** The mechanisms of phenology: the patterns and processes of phenological shifts // Ecol. Monographs. 2019. 89(1): e01337. <https://doi.org/10.1002/ecm.1337>
- Cleland E.E., Chuine I., Menzel A., Mooney H.A., Schwartz M.D.** Shifting plant phenology in response to global change // Trends Ecol. Evol. 2007. 22(7):357–365. [10.1016/j.tree.2007.04.003](https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.04.003)
- Kopp C.W., Neto-Bradley B.M., Lipsen L.P.J., Sandhar J., Smith S.** Herbarium records indicate variation in bloom-time sensitivity to temperature across a geographically diverse region // Int. J. Biometeorol. 2020. 64:873–880. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01877-1>
- Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissolli P., Braslavská O., Briede A., Chmielewski F.M., Crepinsek Z., Curnel Y., Dahl Å., Defila C., Donnelly A., Filella Y., Jatczak K., Måge F., Mestre A., Nordli Ø., Peñuelas J., Pirinen P., Remišova V., Scheifinger H., Striz M., Susnik A., van Vliet A.J.H., Wielgolaski F.-E., Zach S., Züst A.** European phenological response to climate change matches the warming pattern // Global. Change Biol. 2006. 12(10):1969–1976. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x>
- Menzel A., Yuan Y., Matiu M., Sparks T., Scheifinger H., Gehrig R., Estrella N.** Climate change fingerprints in recent European plant phenology // Global. Change Biol. 2020. 26:2599–2612. <https://doi.org/10.1111/gcb.15000>
- Ovaskainen O., Skorokhodova S., Yakovleva M., Sukhov A., Kutenkov A., Kutenkova N., Shcherbakov A., Meyke E., del Mar Delgado M.** Community-level phenological response to climate change // PNAS. 2013. 110(33):13434–13439. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305533110>
- Pearson K.D.** A new method and insights for estimating phenological events from herbarium specimens // Appl. Plant Sci. 2019. 7(3): e1224. [10.1002/aps3.1224](https://doi.org/10.1002/aps3.1224)
- Primack D., Imbres C., Primack R.B., Miller-Rushing A.J., Del Tredici P.** Herbarium specimens demonstrate earlier flowering times in response to warming in Boston // Amer. J. Bot. 2004. 91(8):1260–1264. [10.3732/ajb.91.8.1260](https://doi.org/10.3732/ajb.91.8.1260)
- Rafferty N.E., Diez J.M., Bertelsen D.** Changing climate drives divergent and nonlinear shifts in flowering phenology across elevations // Curr. Biol. 2020. 30(3):432–441. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.11.071>

- Rathcke B., Lacey E.P.** Phenological patterns of terrestrial plants // *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 1985. 16:179–214. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.16.110185.001143>
- Richardson A.D., Keenana T.F., Migliavacca M., Ryu Y., Sonnentag O., Toomey M.** Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system // *Agr. Forest Meteorol.* 2013. 169:156–173. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.012>
- 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.** Old plants, new tricks: phenological research using herbarium specimens // *Trends Ecol. Evol.* 2017. 32(7):531–546. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.03.015>

PHENOLOGICAL RESPONSE OF EARLY-BLOOMING PLANTS OF BURYATIA TO CLIMATE CHANGE

D.V. Sandanov¹, E.A. Batotsyrenov²

¹*Institute of the General and Experimental Biology SB RAS, 6. Sakhyanovoi str., Ulan-Ude, 670047, Russia, e-mail: denis.sandanov@gmail.com*

²*Baikal Institute of Nature Management SB RAS, 6. Sakhyanovoi str., Ulan-Ude, 670047, Russia, e-mail: edikbat@gmail.com*

Information on seasonal development of early-blooming plants in Buryatia is presented. Analysis of long-term phenological studies with 50-year span and blooming dynamic for *Pulsatilla patens* from end of XIX century till beginning of XXI century have been elaborated. Mapping of blooming of *P. patens* in different regions of Buryatia revealed eco-geographic features of species phenology. Using phenological information on the base of herbarium specimens of *Amygdalus pedunculata* showed perspectives of such approach for estimating seasonal development of the species.

Key words: phenology, early-blooming plants, *Pulsatilla patens*, *Rhododendron dauricum*, *Amygdalus pedunculata*, Buryatia.

Acknowledgements. Studies were financially supported by grants of Russian Geography Society No. 23/2019-H5 and Russian Foundation for Basic Research No. 20-45-380009. The work of Denis V. Sandanov carried out under federal budget topic No. AAAA-A17-117011810036-3. The work of Eduard A. Batotsyrenov carried out under federal budget topic of Baikal Institute of Nature Management of SB RAS. Studies have been done with resources of Centre of Collective Usage. Authors express a gratitude to staff of State Archive of Republic of Buryatia and Kyakta

REFERENCES

- Atlas of Transbaikalia** [Atlas Zabaykal'ya (Buryatskaya ASSR i Chitinskaya oblast')]. Moscow; Irkutsk, 1967. 176 p. (In Russ.).
- Badeck F.W., Bondeau A., Böttcher K., Doktor D., Lucht W., Schaber J., Sitch S.** Responses of spring phenology to climate change // *New Phytol.* 2004. 162(2):295–309. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01059.x>
- Batotsyrenov E.A., Sandanov D.V.** Contribution of I.S. Kotov to phenological studies in Buryatia [Vklad I.S. Kotova v fenologicheskie issledovaniya v Buryatii] // *Arkhiv v istorii. Istoriya v arkhivakh.* Irkutsk, 2018. P. 123–131. (In Russ.).
- Beydeman I.N.** Methods of study of phenology of plants and plant communities [Metodika izucheniya fenologii rasteniy i rastitel'nykh soobshchestv]. Novosibirsk, 1974. 155 p. (In Russ.).
- Bulygina O.N., Razuvaev O.N., Aleksandrova T.M.** The description of data on daily air temperature and precipitation on meteo stations of Russia and former USSR (TTTR) [Opisanie massiva dannykh sutochnoy temperatury vozdukha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR)]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh No. 2014620942. (In Russ.).
- Chmura H.E., Kharouba H.M., Ashander J., Ehlman S.M., Rivest E.B., Yang L.H.** The mechanisms of phenology: the patterns and processes of phenological shifts // *Ecol. Monographs.* 2019. 89(1): e01337. <https://doi.org/10.1002/ecm.1337>
- Cleland E.E., Chuine I., Menzel A., Mooney H.A., Schwartz M.D.** Shifting plant phenology in response to global change // *Trends Ecol. Evol.* 2007. 22(7):357–365. [10.1016/j.tree.2007.04.003](https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.04.003)
- Dulepova B.I.** Steppes of mountain forest-steppe of Dahuria and their dynamic [Stepi gornoy lesostepi Daurii i ikh dinamika]. Chita, 1993. 395 p. (In Russ.).
- Ekimova N.V., Rudykh S.G.** Seasonal rhythm of *Armeniacia sibirica* and *Amygdalus pedunculata* (Rosaceae) development in Western Zabaikalie // *Rast. Resursy.* 2007. 43(2):18–23. (In Russ.).
- Fedotova V.G.** History and current state of phenology in Russia // *Biosfera.* 2012. 4(1):69–75. (In Russ.).
- Gvozdik L.N., Mikhaylov Yu.P.** Methods and experience of mapping of seasonal landscapes dynamic of Transbaikalia [Metody i opyt kartografirovaniya sezonnoy dinamiki landshaftov Zabaykal'ya] // *Doklady Instituta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka.* 1965. 10:23–31. (In Russ.).

- Kopp C.W., Neto-Bradley B.M., Lipsen L.P.J., Sandhar J., Smith S.** Herbarium records indicate variation in bloom-time sensitivity to temperature across a geographically diverse region // *Int. J. Biometeorol.* 2020. 64:873–880. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01877-1>
- Kotov I.S.** Seasonal phenomena in nature of Buryatia [Sezonnnye yavleniya v prirode Buryatii]. 2nd edition. Ulan-Ude, 1968. 80 p. (In Russ.).
- Kryukova K.A., Danchenko A.M.** Phenological observations in Russia: brief history of development [Fenologicheskies nablyudeniya v Rossii: kratkaya istoriya razvitiya] // *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta.* 2013. 377:192–195. (In Russ.).
- Kulikov A.I., Ubugunov L.L., Mangataev A.Ts.** Global climate change and its impact on ecosystems // *Arid Ecosystems.* 2014. 4:135–141. 101134/32079096114030032
- Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissolli P., Braslavská O., Briede A., Chmielewski F.M., Crepinsek Z., Curnel Y., Dahl Å., Defila C., Donnelly A., Filella Y., Jatzczak K., Måge F., Mestre A., Nordli Ø., Peñuelas J., Pirinen P., Remišova V., Scheifinger H., Striz M., Susnik A., van Vliet A.J.H., Wielgolaski F.-E., Zach S., Züst A.** European phenological response to climate change matches the warming pattern // *Global. Change Biol.* 2006. 12(10):1969–1976. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x>
- Menzel A., Yuan Y., Matiu M., Sparks T., Scheifinger H., Gehrig R., Estrella N.** Climate change fingerprints in recent European plant phenology // *Global. Change Biol.* 2020. 26:2599–2612. <https://doi.org/10.1111/gcb.15000>
- Minin A.A.** Some aspects of interrelations between terrestrial ecosystems and the changing climate // *Biology Bulletin Reviews.* 2012. 2:176–182. 10.1134/S2079086412020041
- Obyzov A.A.** Adaptation to climate change: regional approach [Adaptatsiya k izmeneniyam klimata: regional'nyy podkhod] // *Geografiya i Prirodnye Resursy.* 2010. 2:34–39. (In Russ.).
- Ovaskainen O., Skorokhodova S., Yakovleva M., Sukhov A., Kutenkov A., Kutenkova N., Shcherbakov A., Meyke E., del Mar Delgado M.** Community-level phenological response to climate change // *PNAS.* 2013. 110(33):13434–13439. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305533110>
- Pearson K.D.** A new method and insights for estimating phenological events from herbarium specimens // *Appl. Plant. Sci.* 2019. 7(3): e1224. 10.1002/aps.3.1224
- Popova O.A.** Adaptation characteristics of prevernal early-blooming plants of Eastern Zabaikalye // *Uchenye zapiski ZabGGPU.* 2011. 1(36):102–110. (In Russ.).
- Primack D., Imbres C., Primack R.B., Miller-Rushing A.J., Del Tredici P.** Herbarium specimens demonstrate earlier flowering times in response to warming in Boston // *Amer. J. Bot.* 2004. 91(8):1260–1264. 10.3732/ajb.91.8.1260
- Radygina V.I.** Seasonal phenomena in pine forest [Sezonnnye yavleniya v sosnovom lesu] // *Flora, rastitel'nost' i rastitel'nye resursy Zabaykal'ya i sopredel'nykh oblastey: Materialy Pervoy nauchnoy konferentsii.* Chita, 1970. P. 60–61. (In Russ.).
- Rafferty N.E., Diez J.M., Bertelsen D.** Changing climate drives divergent and nonlinear shifts in flowering phenology across elevations // *Curr. Biol.* 2020. 30(3):432–441. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.11.071>
- Rathcke B., Lacey E.P.** Phenological patterns of terrestrial plants // *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 1985. 16:179–214. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.16.110185.001143>
- Richardson A.D., Keenana T.F., Migliavacca M., Ryu Y., Sonnentag O., Toomey M.** Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system // *Agr. Forest Meteorol.* 2013. 169:156–173. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.012>
- Sandanov D.V., Batotsyrenov E.A.** Features of spring plant blooming of Buryatia: analysis of archive phenological materials // *Vestnik Vostochno-Sibirskogo Gosudarstvennogo Instituta Kul'tury.* 2019a. 2(10):38–46. (In Russ.).
- Sandanov D.V., Batotsyrenov E.A.** Review of initial phenological studies in Buryatia and prospects for their development using modern methods // *Izvestiya Altayskogo otdeleniya RGO.* 2019b. 2(53):101–106. (In Russ.).
- Sandanov D.V., Bukharova E.V., Rosbakh S., Hartig F., Kurkina I.I.** Trends of long-term phenological observations for Barguzin Reserve plant species and their connection with climate change // *Rol' nauchno-issledovatel'skoy raboty v upravlenii i razviii OOPT. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* Irkutsk, 2019. P. 175–180. (In Russ.).
- Shultz G.E.** Common phenology [Obshchaya fenologiya]. Leningrad, 1981. 188 p. (In Russ.).
- Sinelnikova N.V., Pakhomov M.N.** Seasonal life of nature in the Upper Kolyma region. Moscow, 2015. 329 p. (In Russ.).
- Talko-Gryntsevich Yu.** The climate of Troitskosavsk-Kyakhta in hygienic relationship [Klimat Troitskosavska-Kyakhty v gigenicheskom otnoshenii]. Irkutsk, 1897. 67 p. (In Russ.).
- The red data book of Republic of Buryatia [Krasnaya kniga Respubliki Buryatiya: Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh, rasteniy i gribov].** Ulan-Ude, 2013. 668 p. (In Russ.).
- 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.** Old plants, new tricks: phenological research using herbarium specimens // *Trends Ecol. Evol.* 2017. 32(7):531–546. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.03.015>

Поступила в редакцию 20.05.2020 г.,
после доработки – 08.07.2020 г.,
принята к публикации 18.07.2020 г.