

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЕСЕННЕГО РАЗВИТИЯ ЧЕРЕМУХИ В ПРИРОДНЫХ
ЗОНАХ РОССИИ**

Научная статья

Янцер О.В.^{1,*}

¹ORCID : 0000-0003-1346-5512;

¹Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ksenia_yantser[at]bk.ru)

Аннотация

В статье представлены результаты исследования весеннего развития черемухи обыкновенной при проведении Единого Фенологического дня 15 мая в период с 2012 по 2022 гг. в природных зонах территории России. Методологическую основу исследования составляет комплексный подход, опирающийся на выделение реальных природных комплексов с их отличительными признаками, индикаторами которых выступает развитие черемухи обыкновенной. Методы исследования – полевые наблюдения. Опорными пунктами для наблюдения выступили особо охраняемые природные территории, заповедники и парки, а на урбанизированных территориях съемка проводилась непосредственно в населенных пунктах и их окрестностях. В результате наблюдений, проведенных с помощью метода феноизмерений, была получена одновременная характеристика сезонного развития геокомплексов в математической форме, дающей возможность проводить сравнения в разных климатических условиях. По полученным данным была построена карта при помощи ПО ArcGIS Desktop, на которой благодаря интерполяции получена поверхность распределения результатов наблюдения. Отмечено, что раньше всего сезонное развитие черемухи наблюдается на юго-востоке и юго-западе России в соответствии с законом широтной зональности. Произведен расчет феноаномалий в баллах от среднего значения по природной зоне и подзоне. Максимальное опережение развития вида выявлено в степной зоне Европейской территории России. Определена скорость прохождения явлений в разных природных зонах. Неравномерность развития черемухи в природных зонах России напрямую связывается с географическими факторами. В качестве перспективы исследования можно определить дальнейший расчет скорости и продвижения в сутках, а также возможность моделировать и прогнозировать развитие черемухи в зонах с наименьшим количеством наблюдений.

Ключевые слова: сезонная динамика, природная зона, черемуха обыкновенная.

SPATIAL PATTERNS OF SPRING DEVELOPMENT OF BIRD CHERRY IN NATURAL ZONES OF RUSSIA

Research article

Yantser O.V.^{1,*}

¹ORCID : 0000-0003-1346-5512;

¹Ural State Pedagogical University, Ekaterinburg, Russian Federation

* Corresponding author (ksenia_yantser[at]bk.ru)

Abstract

The article presents the results of the study of spring development of common bird cherry during the Uniform Phenological Day on 15 May in the period from 2012 to 2022 in natural areas of Russia. The methodological basis of the study is a complex approach based on the identification of real natural complexes with their distinctive traits, indicators of which is the development of common bird cherry. Research methods – field observations. The reference points for observation were specially protected natural territories, reserves and parks, and in urbanized areas the survey was carried out directly in settlements and their vicinities. As a result of the observations carried out using the pheno-measurement method, a simultaneous characterization of the seasonal development of geocomplexes was obtained in a mathematical form, which makes it possible to make comparisons in different climatic conditions. Based on the obtained data, a map was constructed using ArcGIS Desktop software, on which the distribution surface of the observation results was generated through interpolation. It was noted that the earliest seasonal development of bird cherry is observed in the south-east and south-west of Russia, in accordance with the law of latitudinal zonality. Phenoanomalies were calculated in points from the average value for the natural zone and subzone. The maximum advance of the species development was found in the steppe zone of the European territory of Russia. The speed of passing phenomena in different natural zones was determined. The unevenness of development of bird cherry in natural zones of Russia is directly related to geographical factors. Further calculation of the speed and advancement in days, as well as the possibility of modelling and forecasting the development of bird cherry in zones with the smallest number of observations, can be defined as a research perspective.

Keywords: seasonal dynamics, natural zone, common bird cherry.

Введение

В настоящее время антропогенными нарушениями природной среды вызвано глобальное потепление [1], [2], [13], [22]. Подобные изменения отражаются в сдвиге весенних фенофаз на все более раннее время (отрицательный тренд – время раскрывания почек и зацветания) и в увеличении времени вегетации (положительный тренд) [3]. По мнению ряда ученых, подобное явление ярче всего проявится в сезонном развитии растений бореальной зоны Северного полушария, в Европе и Северной Америке [18], [19], [22]. При этом необходимо отметить, что одним из важных показателей изменения климата выступает начало цветения растений [4], [19], [21]. Климат играет заметную роль в

формировании природных зон, а климатические изменения оказывают влияние на их дальнейшее функционирование и трансформацию. Однако в настоящее время недостаточно изучено влияние глобального потепления на изменения, происходящие в природных зонах.

Для умеренных широт свойственны определенные сезонные явления и календарные сроки их наступления. Время их наступления не фиксировано, их ежегодные колебания часто значительны. Получение данных, которые отражают особенности сезонного развития природы в природных зонах и подзонах, составляет предмет ландшафтной фенологии – одного из важнейших направлений современного динамического ландшафтоведения. Сезонная динамика растений обладает определенными характеристиками и выступает индикатором пространственно-динамических изменений физико-географических условий территорий умеренного климатического пояса [4], [5].

Значительная часть наблюдаемых фенологических явлений относится к весеннему комплексу. В этот период происходят кардинальные изменения в природе. Различия между ландшафтами максимальны, поскольку изменение гидротермических показателей очень активно, но разными темпами. Весна отличается наличием ярких, заметных, точно фиксированных явлений и минимальными сроками их протекания. К наиболее распространенным явлениям, характеризующим наступление разгара весны, относится зацветание черемухи обыкновенной, составляющей «золотую коллекцию» панареальных феноиндикаторов. Это распространенный вид, сохраняющий свою индицирующую роль на всем ареале распространения. Зацветание черемухи часто сопровождается последними заморозками в воздухе и приходом тепла [9].

Методы и принципы исследования

Методологическую базу настоящего исследования составляет комплексный подход, на основе которого выделяются существующие в действительности природные комплексы и их признаки, индикаторами которых может быть сезонное развитие распространенного вида – черемухи обыкновенной. Традиционно методы исследования сезонной динамики – полевые наблюдения, направленные на определение и фиксацию изменений природных компонентов.

Единый фенологический день (далее – ЕФД) – всероссийский проект гражданской науки, базирующийся на единстве сроков наблюдения в масштабе всей страны. Суть проекта состоит в том, что выбирается распространенный, известный и легкий в наблюдении объект, сезонное изменение которого описывает большое число наблюдателей в одно и то же время. В результате получается своего рода «снимок» состояния объекта, можно определить скорость распространения явления на конкретной территории и выявить динамику развития в регионах.

Первоначально в России для проведения ЕФД в качестве опорных пунктов для наблюдения были определены участки особо охраняемых природных территорий (далее – ООПТ), заповедников и природных парков с их многообразием природных зон и ландшафтов. В ООПТ воздействие человека на окружающую среду минимально, и фенологические наблюдения направлены на составление Летописи природы. На урбанизированных территориях фенологическая съемка проводилась в населенных пунктах и в их окрестностях. Весенний ЕФД проводился 15 мая, объект наблюдений – черемуха обыкновенная (*Padus avium*). Задачи участников: выбрать дерево/кустарник черемухи для постоянного наблюдения в течение нескольких лет и ежегодно 15 мая отмечать их фенологическое состояние.

Для проведения наблюдений применялся описательный первичный метод феноизмерений, разработанный В.А. Батмановым [16]. Данный метод доступен и прост в плане характеристики объекта, удобен для последующей обработки данных и не требует частых посещений, поскольку уже после однократного посещения участка можно получить законченный отчет без подсчетов. Каждой фазе сезонного развития растения присваивается цифровое обозначение. Чтобы обеспечить высокую детальность наблюдений, М.К. Куприянова и Н.В. Беляева разработали шкалы нормальной последовательности фенофаз и их подразделений – перечень последовательных фенологических состояний объекта в виде прямого ряда сезонных необратимых явлений развития черемухи с фотографиями.

Согласно данной шкале:

0 баллов – фаза зимнего покоя (все почки сохраняют зимний вид и размеры);

1 балл – фаза набухания почек (у всех почек наружные жесткие коричневые почечные чешуи расходятся, и на ветвях появляются увеличивающиеся почки, прикрытые зеленовато-белыми пленчатыми чешуями);

2 балла – фаза «проклевывания» почек (появление «лопнувших» цветочных почек, из которых показались соцветия);

3 балла – фаза бутонизации (появление полностью обособившихся компактных прямых соцветий-«свечек») и т.д. [10].

Таким образом, в каждый момент времени можно получить как количественную фенологическую характеристику отдельного растения, так и индикацию всего природного комплекса путем вычисления средних арифметических фенологических показателей. В результате получена статистически достоверная характеристика сезонного развития геокомплексов, выраженная в удобной математической форме, что позволяет сравнивать ландшафты, расположенные в различных климатических и микроклиматических условиях. Ежегодно количество пунктов наблюдения на территории России стабильно растет: от 178 до 1124, за 11 лет массив данных составил более 10000 наблюдений. Однако для выявления закономерностей в сезонном развитии вида выбраны только те пункты, где проект постоянно реализован с 2012 по 2022 годы.

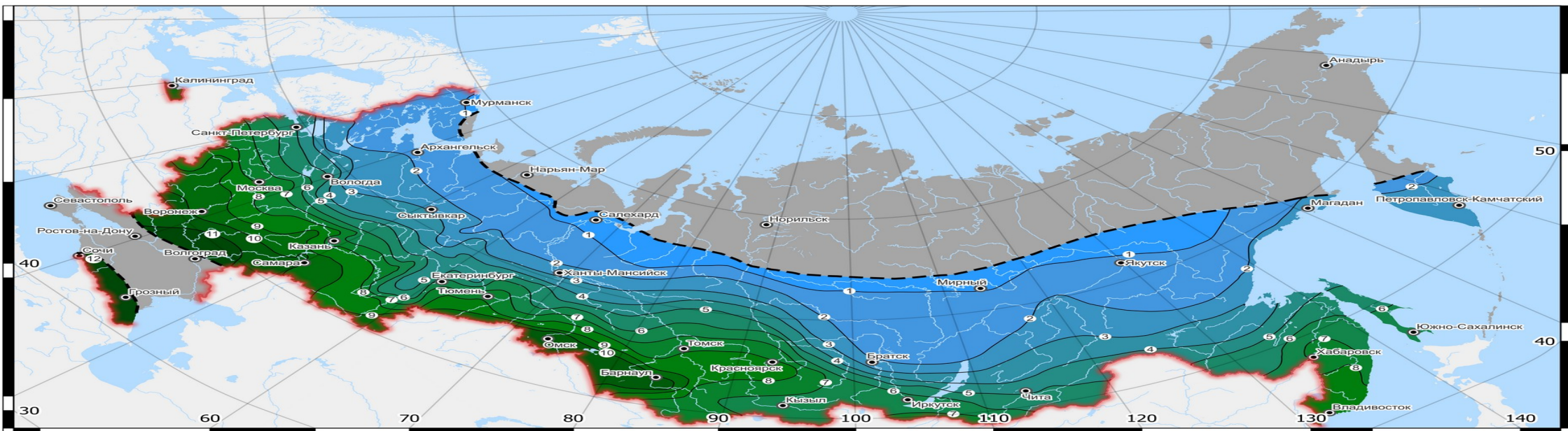
Для того чтобы генерализировать массив, были определены средние баллы развития (M) со стандартными ошибками наблюдений (m) в 158 пунктах, где черемуха обыкновенная встречается на своем ареале произрастания. Благодаря этому с помощью математической обработки результатов можно сделать выводы о достоверности различий.

С помощью построения поверхности в ПО ArcGIS Desktop составлялась карта по данным ЕФД. В результате геокодирования пунктов наблюдения с помощью интерполяции мы получили поверхность распределения результатов наблюдения в среде ПО ArcGIS Desktop. Интерполяция позволяет использовать известные значения в опорных точках для прогнозирования значения в точках, где не проводились измерения. Анализ исходных данных и приведенная в документации ПО ArcGIS Desktop справочная информация определила выбор метода обратно взвешенных расстояний для построения поверхности. Для интерполяции значения неизмеренного положения IDW применяет измеренные

значения вокруг интерполируемого местоположения. При этом на прогнозируемое значение большое влияние оказывают самые близкие к местоположению измеренные значения, поскольку предполагается, что с увеличением расстояния каждая измеренная точка оказывает меньшее влияние. В связи с этим большим весом обладают точки, наиболее близкие к интерполируемому местоположению [7], и вес точки уменьшается как функция от расстояния. По полученной поверхности построены изофены и определены зоны с разным состоянием развития объекта. Для оптимизации сравнения показателей природных зон произведен расчет скорости прохождения фенологических процессов, измеряемых количеством баллов/доли баллов на 100 км при движении с юга на север [14].

Основные результаты

Результат картографирования приведен на рис. 1 – пространственный анализ данных всей совокупности средней многолетней балльной цифровой фенологической характеристики наблюдаемых участниками проекта объектов за период 2012-2022 гг. Более широкая сеть точек наблюдения представлена в европейской территории России и на Урале. В границах ареала произрастания черемухи обыкновенной максимальное развитие генеративного процесса на дату наблюдения выявлено в степной зоне: в юго-западной части европейской территории России, Зауралье и Западной Сибири. При этом в Европейской территории на исследуемую дату уже отмечено начало плодоношения, а в степной зоне азиатской части России – цветение и полное цветение. Вероятно, определяющим фактором здесь служит не только широтное распределение солнечной радиации, но и количество осадков зимнего периода и большее количество солнечных дней в начале весны. В состоянии покоя и набухания почек находятся объекты в зоне лесотундры и крайних территорий северной тайги.



1:30 000 000

0 500 1 000 км

Условные обозначения

- 1 - Изофены
- Граница ареала Черемухи обыкновенной (*Prunus padus*)
- ⊙ Город
- Граница Российской Федерации

Фенологическое состояние

- 0 баллов - Зимний покой
- 1 балл - Набухание почек
- 2 балла - «Разверзание» или «проклёвывание» цветочных почек
- 3 балла - Начало бутонизации
- 4 балла - Бутонизация, «разрыхление» соцветий
- 5 баллов - Бутонизация, соцветия-кисти
- 6 баллов - Бутонизация, окрашенные бутоны
- 7 баллов - Начало цветения
- 8 баллов - «Разгар», массовое цветение
- 9 баллов - Начало отцветания
- 10 баллов - Отцветание
- 11 баллов - Полное отцветание
- 12 баллов - Начало плодоношения

Рисунок 1 - Весеннее развитие черемухи обыкновенной 15 мая на территории России

Примечание: 2012-2022

Обсуждение

Более быстрыми темпами фронт явления продвигается в зонах тайги, смешанных и широколиственных лесов на ЕТР, снижаясь в северной тайге и лесотундре. Минимальными скоростями продвижения в пространстве и меньшим количеством фенофаз (до 5-7) характеризуются таежные и горные территории Средней Сибири и Забайкалья, муссонные и смешанные леса Приамурья. В восточной части таежной зоны Западной Сибири и западной части Средней Сибири наблюдается отклонение изофен к северу: фенофазы от начала бутонизации до появления соцветий-кистей здесь наступают раньше по сравнению с Русской равниной. Однако начальные фазы в северной тайге данных территорий протекают одновременно. На востоке страны конфигурация ряда изофен меняется при удалении от побережья Тихого океана вглубь материка с почти повторяющей контуры континента до субширотной. Вероятно, это связано не только с взаимодействием климатической системы океан-суша, но и с наличием горных массивов и нагорий, условия которых препятствуют раннему сходу снега, быстрому прогреванию и просыханию почвы, активным ростовым процессам вида в первой и второй декадах мая.

Важной координатой, определяющей ход сезонного развития в ландшафтах, служат абсолютная высота и характер рельефа. Влияние рельефа прослеживается на возвышенностях Русской равнины, на Урале, в западных и Восточных Саянах – ход изолиний сезонного развития отклоняется к югу или меняет характер с субширотного на субмеридиональный. В предгорьях Западного Кавказа развитие черемухи несколько быстрее, чем в восточных предгорьях, – по нашим предварительным расчетам разница в 1 балл на этой территории, в среднем, соответствует скорости продвижения явления в 2,5-3 суток.

Скорость прохождения явлений в природных зонах колеблется от 0,46 баллов/100 км в ЕТР, 0,62 баллов/100 км на Урале, достигая максимум 0,83 баллов/100 км в Западной Сибири, снижаясь постепенно в Забайкалье до 0,54 баллов/100 км, достигая минимальных значений до 0,32 в Забайкалье и 0,39 баллов/100 км на Дальнем Востоке.

Максимальное количество наблюдений для одного пункта представлено в крупных городах РФ – Москве, Екатеринбурге, Тюмени, Санкт-Петербурге, Томске, что позволило получить более точные результаты наблюдений, генерализовать данные и отследить пространственные закономерности сезонного развития объекта в городской среде. Опыт картографирования представлен в публикации [17].

Заключение

Весеннее развитие черемухи в природных зонах России в период с 2012 по 2022 гг. происходит неравномерно и определяется влиянием ряда географических факторов. ПО ArcGIS Desktop визуализирует результаты наблюдений, быстро и верно представляет их в форме картографической модели и позволяет проводить сравнение районов с различными условиями.

Перспективным направлением изучения пространственных закономерностей служит расчет скорости продвижения и отклонений в сутках, а также разработка методики моделирования и прогнозирования развития процесса для территорий с ограниченным количеством наблюдений, в т.ч. для горных условий. Дальнейшее исследование даст возможность определить особенности временных сдвигов, что может предоставить инструмент оценки характера воздействия климатических изменений на весеннее развитие вида.

Благодарности

Автор выражает благодарность А.А. Минину за научное консультирование, А.А. Юрманову, К.А. Симаковой, В.А. Грудинской и команде проекта «Окружающий мир» Фенологической сети Русского географического общества за помощь в реализации Единого Фенологического дня, М.К. Куприянова и Н.В. Беляева за идейное сопровождение, всех участников всероссийского проекта «Единый фенологический день» за проведенные наблюдения.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Acknowledgement

The author expresses their gratitude to A.A. Minin for scientific advice, A.A. Yurmanov, K.A. Simakova, V.A. Grudinskaya and the team of the project "The World Around Us" of the Phenological Network of the Russian Geographical Society for assistance in the implementation of the United Phenological Day, M.K. Kupriyanova and N.V. Belyaeva for ideological support, all participants of the All-Russian project "One Phenological Day" for observations. Kupriyanova and N.V. Belyaeva for ideological support, all participants of the All-Russian project "Unified Phenological Day" for conducted observations.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Галимова Р.Г. Оценка влияния современных климатических изменений в природных зонах республики Башкортостан / Р.Г. Галимова // Региональные геосистемы. — 2020. — Т. 44. — № 2. — С. 125–137.
2. Груза Г.В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова. — М.: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. — 198 с.

3. Жмылев П.Ю. Возможные причины изменения сезонного развития растений в связи с потеплением климата / П.Ю. Жмылев, А.П. Жмылева, Е.А. Карпухина [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. Биологические науки. — 2001. — № 9. — С. 98-103.
4. Иванов Н.В. Фенологические и термические индикаторы сезонного развития природы / Н.В. Иванова // Фенологическая индикация и фенопрогнозирование. — Л.: РТП ГО СССР, 1984. — С. 17-21.
5. Иванова Ю.Р. Сезонное развитие растительных сообществ в контексте изменяющихся погодных условий низкотерри Среднего Урала / Ю.Р. Иванова, Н.В. Скок // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 2019. — Т. 30. — № 1-2. — С. 70-89. — DOI: 10.21513/2686-7710-2019-1-70-89.
6. Гурьевских О.Ю. Исследование сезонной динамики ландшафтов Урала в парадигме функционально-динамического подхода: история и современность / О.Ю. Гурьевских [и др.] // Географический вестник. — 2021. — № 1. — С. 16-30.
7. Коновалова Т.И. Геосистемное картографирование / Т.И. Коновалова; под науч. ред. А.К. Черкашина. — Новосибирск: Гео, 2010. — 186 с.
8. Минин А.А. Феноиндикация изменений климата за период 1976–2015 гг. в центральной части европейской территории России: береза бородавчатая (повислая) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) / А.А. Минин, Э.Я. Ранькова, Е.Г. Рыбина [и др.] // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 2016. — Т. XXVIII. — № 3. — С. 5-22.
9. Минин А.А. Гомеостатические реакции деревьев на современные изменения климата: пространственно-фенологические аспекты / А.А. Минин, А.В. Воскова // Онтогенез. — 2014. — Т. 45. — № 3. — С. 162-169.
10. Фенологическая сеть Русского географического общества. — URL: <https://fenolog.rgo.ru> (дата обращения: 30.04.2021).
11. Минин А.А. Фенологические тренды в природе центральной части Русской равнины в условиях современного потепления / А.А. Минин [и др.] // Жизнь Земли. — 2018. — Т. 40. — № 2. — С. 162-174.
12. Хорошев А.В. Полимасштабная организация географического ландшафта / А.В. Хорошев. — М.: КМК, 2016. — 416 с.
13. Шерстюков Б.Г. Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария Земли в последнее десятилетие / Б.Г. Шерстюков, Р.С. Салугашвили // Труды ГУ ВНИИГМИ-МЦД. — 2010. — Вып. 175. — С. 43-51.
14. Шульц Г.Э. Общая фенология / Г.Э. Шульц. — Л.: Наука, 1981. — 187 с.
15. Янцер О.В. Из опыта картографирования результатов Единого фенологического дня / О.В. Янцер, А.С. Вдовин // Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 65-летию Белорусского географического общества. — 2019. — С. 308-313.
16. Янцер О.В. Фенологические методы исследований в изучении динамики ландшафтов: общий обзор / О.В. Янцер, Н.В. Скок // Вестник Башкирского государственного университета. Серия «География». — 2016. — № 1. — С. 91-100.
17. Ivanova U.R. Spatial Heterogeneity In Phenological Development Of *Prunus Padus* L. In The Yekaterinburg City / U.R. Ivanova, N.V. Skok, O.V. Yantser // Geography, Environment, Sustainability. — 2019. — Vol. 2 (12). — P. 273-281.
18. Kramer K. Phenotypic Plasticity of the Phenology of Seven European Tree Species in Relation to Climatic Warming / K. Kramer // Plant, Cell and Environment. — 1995. — No. 2. — P. 93-104.
19. Kramer K. The Importance of Phenology for the Evaluation of Impact of Climate Change on Growth of Boreal, Temperate and Mediterranean Forests Ecosystems: an overview / K. Kramer, I. Leinonen, D. Loustau // Int. Journ. Biomet. — 2000. — Vol. 44. — P. 67-75.
20. Khoroshev A.V. Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales / A.V. Khoroshev. — Landscape Series 26. — Springer Nature Switzerland AG, 2020. — 439 p. — DOI: 10.1007/978-3-030-31185-8.
21. Ovaskainen O. Chronicles of Nature Calendar, a Long-Term and Large-Scale Multitaxon Database on Phenology / O. Ovaskainen, E. Meyke, C. Lo // Scientific Data. — 2020. — Vol. 7 (47). — P. 1-12.
22. Sparks T.H. The Responses of Species to Climate over Two Centuries: an Analysis of the Marsham Phenological Record, 1736-1947 / T.H. Sparks, P.D. Carey // Jorm. Ecol. — 1995. — Vol. 83. — P. 321-329.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Galimova R.G. Ocenka vlijanija sovremennyh klimaticheskikh izmenenij v prirodnyh zonah respubliky Bashkortostan [An Assessment of the Impact of Modern Climate Change in Natural Zones of the Republic of Bashkortostan] / R.G. Galimova // Regional'nye geosistemy [Regional Geosystems]. — 2020. — Vol. 44. — № 2. — P. 125–137. [in Russian]
2. Gruza G.V. Nabljudayemye i ozhidaemye izmenenija klimata Rossii: temperatura vozduha [Observed and Expected Changes in Russia's Climate: Air Temperature] / G.V. Gruza, Je.Ja. Ran'kova. — М.: VNIIGMI-MCD, 2012. — 198 p. [in Russian]
3. Zhmylev P.Ju. Vozmozhnye prichiny izmenenii sezonnogo razvitija rastenij v svjazi s potepleniem klimata [Possible Reasons for Changes in Seasonal Development of Plants Due to Climate Warming] / P.Ju. Zhmylev, A.P. Zhmyleva, E.A. Karpuhina [et al.] // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Serija: Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. Biologicheskie nauki [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety. Biological Sciences]. — 2001. — № 9. — P. 98-103. [in Russian]
4. Ivanov N.V. Fenologicheskie i termicheskie indikatory sezonnogo razvitija prirody [Phenological and Thermal Indicators of Seasonal Development of Nature] / N.V. Ivanova // Fenologicheskaja indikacija i fenoprognozirovanie [Phenological Indication and Phenoprediction]. — Л.: RTP GO SSSR, 1984. — P. 17-21. [in Russian]

5. Ivanova Ju.R. Sezonnoe razvitie rastitel'nyh soobshhestv v kontekste izmenjajushhishja pogodnyh uslovij nizkogorij Srednego Urala [Seasonal Development of Plant Communities in the Context of Changing Weather Conditions in the Lowlands of the Middle Urals] / Ju.R. Ivanova, N.V. Skok // Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovanija jekosistem [Problems of Ecological Monitoring and Modelling of Ecosystems]. — 2019. — Vol. 30. — № 1-2. — P. 70-89. — DOI: 10.21513/2686-7710-2019-1-70-89. [in Russian]

6. Gur'evskih O.Ju. Issledovanie sezonnoj dinamiki landshaftov Urala v paradigme funkcional'no-dinamicheskogo podhoda: istorija i sovremenost' [A Study of Seasonal Dynamics of Ural Landscapes in the Paradigm of Functional Dynamic Approach: History and Modernity] / O.Ju. Gur'evskih [et al.] // Geograficheskij vestnik [Geographical Bulletin]. — 2021. — № 1. — P. 16-30. [in Russian]

7. Konovalova T.I. Geosistemnoe kartografirovanie [Geosystem Mapping] / T.I. Konovalova; scien. ed. by A.K. Cherkashin. — Novosibirsk: Geo, 2010. — 186 p. [in Russian]

8. Minin A.A. Fenoidikacija izmenenij klimata za period 1976–2015 gg. v central'noj chasti evropejskoj territorii Rossii: bereza borodavchataja (povislaja) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), cheremuha obyknovennaja (*Padus avium* Mill.), rjabina obyknovennaja (*Sorbus aucuparia* L.), lipa melkolistnaja (*Tilia cordata* Mill.) [Phenoidication of Climate Change for the Period 1976-2015 in the Central Part of European Russia: Birch (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), Common Bird Cherry (*Padus avium* Mill.), Common Mountain Ash (*Sorbus aucuparia* L.), Small-leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.)] / A.A. Minin, Je.Ja. Ran'kova, E.G. Rybina [et al.] // Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovanija jekosistem [Problems of Ecological Monitoring and Modelling of Ecosystems]. — 2016. — Vol. XXVIII. — № 3. — P. 5-22. [in Russian]

9. Minin A.A. Gomeosticheskie reakcii derev'ev na sovremennye izmenenija klimata: prostranstvenno-fenologicheskie aspekty [Homeostatic Responses of Trees to Modern Climate Change: Spatial and Phenological Aspects] / A.A. Minin, A.V. Voskova // Ontogenez [Ontogenesis]. — 2014. — Vol. 45. — № 3. — P. 162-169. [in Russian]

10. Fenologicheskaja set' Russkogo geograficheskogo obshhestva [Phenological Network of the Russian Geographical Society]. — URL: <https://fenolog.rgo.ru> (accessed: 30.04.2021). [in Russian]

11. Minin A.A. Fenologicheskie trendy v prirode central'noj chasti Russkoj ravniny v uslovijah sovremennogo potepnenija [Phenological Trends in the Nature of the Central Russian Plain in the Conditions of Modern Warming] / A.A. Minin [et al.] // Zhizn' Zemli [Earth's Life]. — 2018. — Vol. 40. — № 2. — P. 162-174. [in Russian]

12. Horoshev A.V. Polimasshtabnaja organizacija geograficheskogo landshafta [Polyscale Organization of the Geographical Landscape] / A.V. Horoshev. — M.: KMC, 2016. — 416 p. [in Russian]

13. Sherstjukov B.G. Novye tendencii v izmenenijah klimata Severnogo polusharija Zemli v poslednee desjatiletie [New Tendencies in Climate Change in the Northern Hemisphere of the Earth in the Last Decade] / B.G. Sherstjukov, R.S. Salugashvili // Trudy GU VNIIGMI-MCD [Proceedings of GU VNIIGMI-MDC]. — 2010. — Iss. 175. — P. 43-51. [in Russian]

14. Schulz G.Je. Obshhaja fenologija [General Phenology] / G.Je. Schulz. — L.: Nauka, 1981. — 187 p. [in Russian]

15. Jancer O.V. Iz opyta kartografirovanija rezul'tatov Edinogo fenologicheskogo dnja [From the Experience of Mapping the Results of the Unified Phenological Day] / O.V. Jancer, A.S. Vdovin // Sovremennye napravlenija razvitija fizicheskoj geografii: nauchnye i obrazovatel'nye aspekty v celjah ustojchivogo razvitija [Modern Directions of Physical Geography Development: Scientific and Educational Aspects for Sustainable Development]: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference devoted to the 85th Anniversary of the Faculty of Geography and Geoinformatics of the Belarusian State University and the 65th Anniversary of the Belarusian Geographical Society. — 2019. — P. 308-313. [in Russian]

16. Jancer O.V. Fenologicheskie metody issledovanij v izuchenii dinamiki landshaftov: obshhij obzor [Phenological Research Methods in the Study of Landscape Dynamics: an overview] / O.V. Jancer, N.V. Skok // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Geografija» [Bulletin of Bashkir State University. Series "Geography"]. — 2016. — № 1. — P. 91-100. [in Russian]

17. Ivanova U.R. Spatial Heterogeneity In Phenological Development Of *Prunus Padus* L. In The Yekaterinburg City / U.R. Ivanova, N.V. Skok, O.V. Yantser // Geography, Environment, Sustainability. — 2019. — Vol. 2 (12). — P. 273-281.

18. Kramer K. Phenotypic Plasticity of the Phenology of Seven European Tree Species in Relation to Climatic Warming / K. Kramer // Plant, Cell and Environment. — 1995. — No. 2. — P. 93-104.

19. Kramer K. The Importance of Phenology for the Evaluation of Impact of Climate Change on Growth of Boreal, Temperate and Mediterranean Forests Ecosystems: an overview / K. Kramer, I. Leinonen, D. Loustau // Int. Journ. Biomet. — 2000. — Vol. 44. — P. 67-75.

20. Khoroshev A.V. Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales / A.V. Khoroshev. — Landscape Series 26. — Springer Nature Switzerland AG, 2020. — 439 p. — DOI: 10.1007/978-3-030-31185-8.

21. Ovaskainen O. Chronicles of Nature Calendar, a Long-Term and Large-Scale Multitaxon Database on Phenology / O. Ovaskainen, E. Meyke, C. Lo // Scientific Data. — 2020. — Vol. 7 (47). — P. 1-12.

22. Sparks T.H. The Responses of Species to Climate over Two Centuries: an Analysis of the Marsham Phonological Record, 1736-1947 / T.H. Sparks, P.D. Carey // Jorm. Ecol. — 1995. — Vol. 83. — P. 321-329.