

О.В. Янцер*

Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург, Россия

**Автор для корреспонденции: ksenia_yantser@bk.ru*

Весеннее развитие черемухи обыкновенной как индикатор временных состояний ландшафтов (Свердловская область)

В статье представлены результаты исследования весеннего развития черемухи обыкновенной при проведении Единого фенологического дня 15 мая на территории Свердловской области за 2012–2023 гг. Изучение сезонного состояния вида при помощи описательного метода позволило определить географические закономерности наступления фенологических фаз и скорости продвижения явления в пространстве в пределах природных зон и подзон в зависимости от факторов окружающей среды. Выявлено более раннее развитие черемухи на юго-востоке и юго-западе области, далее фронт явления продвигается на север и северо-запад. Различия между северными и южными районами территории, в среднем, составляют 6–7 баллов. В результате наблюдений получена характеристика сезонного развития объекта, индицирующего состояние природных комплексов в краткой математической форме. Максимальное опережение развития выявлено в лесостепной зоне Русской равнины и Западной Сибири в границах исследуемого региона. В горных районах области явления наступают с заметным отставанием в 6 баллов по сравнению с равнинными. Скорость прохождения явления в разных под зонах колеблется от 0,8 до 3 баллов/100 км. Опыт такого рода многолетних исследований для других районов страны может помочь выявить тенденции влияния изменений климата на адаптационные механизмы отдельных видов растений-феноиндикаторов.

Ключевые слова: сезонная динамика, природная зона, черемуха обыкновенная, Свердловская область, Урал.

Введение

Анализ закономерностей сезонного развития растений представляет значительный интерес, так как данные о фенологическом развитии потенциально могут содержать информацию как о механизмах влияния на растения внешних модифицирующих факторов (в частности, погодных факторов), так и о регуляторных процессах в самом растении [1]. Всплеск интереса к фенологии растений в последние десятилетия связан с исследованиями в области глобального потепления климата. Анализ сроков и их направленности в периодических событиях растительного мира может выступать не только как хороший биоиндикатор климатических изменений, но и как количественный показатель воздействия потепления на природные комплексы. Действительно, при потеплении и росте весенних температур критические температуры или суммы накопленных температур, необходимые для начала вегетации, будут достигнуты в более ранние сроки [1, 2]. Подобные изменения отражаются в сдвиге весенних фенофаз на все более раннее время: сроки раскрывания почек и зацветания имеют отрицательный тренд [3, 4]. Весной различия между ландшафтами максимальны, поскольку трансформация гидро-термических показателей очень активна, но протекает разными темпами. Наблюдаемые изменения в датах наступления весенних явлений часто связывают с температурой предшествующих месяцев. По мнению ряда ученых, подобное явление ярче всего проявится в сезонном развитии растений бореальной зоны Северного полушария, в Европе и Северной Америке [5–8].

Методы и материалы

Сотрудниками кафедры географии, методики географического образования и туризма УрГПУ организован сбор данных на одну дату — 15 мая — в Единый фенологический день (далее ЕФД). Перед участниками стояла задача выбрать объект — дерево или куст черёмухи и ежегодно 15 мая отмечать его фенологическое состояние, сравнивая имеющийся объект с общей шкалой развития вида. Каждой фазе сезонного развития растения присвоено цифровое обозначение, для обеспечения высокой детальности наблюдений М.К. Куприяновой и Н.В. Беляевой оформлены шкалы нормальной последовательности фенофаз — перечень последовательных фенологических состояний объекта в виде прямого ряда сезонных необратимых состояний развития черемухи с фотографиями. Весна отличает-

ся наличием ярких, заметных, точно фиксированных явлений и минимальными сроками их протекания. К наиболее распространенным явлениям, характеризующим наступление разгара весны, относятся 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 [4, 9].

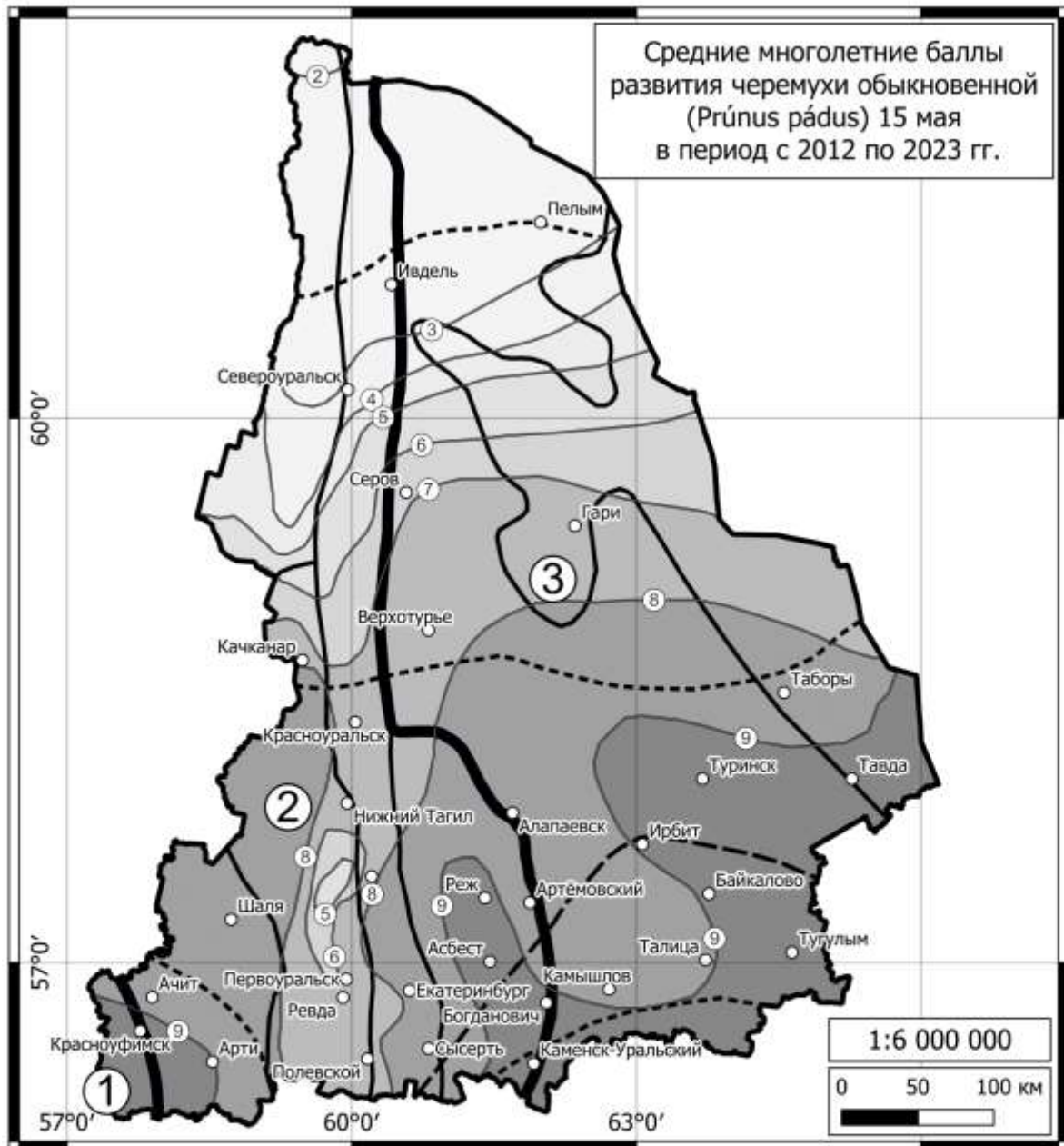
Выбор описательного первичного метода феноизмерений, разработанного В.А. Батмановым [10], определен отсутствием необходимости многократных посещений объекта в течение сезона и проведения каких-либо подсчетов на местности. Согласно данной шкале, 0 баллов — фаза зимнего покоя (все почки сохраняют зимний 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 «проклёвывания» почек (появление «лопнувших» цветочных почек, из которых показались соцветия); 3 балла — фаза бутонизации (появление полностью обособившихся компактных прямых соцветий-«свечек») и т.д. [9]. В один момент времени получена количественная фенологическая характеристика отдельных растений. Для выявления закономерностей в сезонном развитии вида выбраны только те пункты, где проект постоянно реализован с 2012 по 2023 годы. Для генерализации массива многолетних данных были определены средние многолетние баллы развития (М) со стандартными ошибками наблюдений (m) в 33 пунктах Свердловской области. Вычисленные средние арифметические фенологические показатели развития объектов являются статистически достоверной характеристикой сезонного развития геокомплексов, индицируют состояние всего природного комплекса и позволяют сравнивать ландшафты, расположенные в различных климатических условиях.

Фенологическое картографирование осуществлено при помощи построения поверхности в ПО ArcGISDesktop. В результате геокодирования пунктов наблюдения с помощью интерполяции получена поверхность распределения результатов наблюдения методом обратно взвешенных расстояний [10]. Наблюдениями не охвачена крайняя северо-восточная и северо-западная части области, что обусловлено их слабой заселенностью. Интерполяция позволила использовать известные значения в опорных точках для прогнозирования значений в пунктах, где не осуществлялись измерения. По полученной поверхности построены изофены и определены зоны с разным средним многолетним состоянием объекта 15 мая. Для оптимизации сравнения показателей весенней динамики вида в ландшафтах произведен расчет скорости прохождения фенологических процессов с севера на юг, измеряемых количеством баллов/долями баллов на 100 км при движении с юга на север и с запада на восток [11].

Результаты и обсуждение

На карте средних многолетних баллов развития вида (см. рис.) визуализирован ход изофен — линий с одинаковым фенологическим состоянием. По характеру изолиний можно судить о распространении процесса развития черемухи на территории области. Процесс начинается на юго-востоке и юго-западе области и продвигается на север и северо-запад. В то время как в лесостепной подзоне в юго-западной и юго-восточной территориях на Русской и Западно-Сибирской равнинах в границах области черемуха обыкновенная достигает стадии развития «начало отцветания» и «массовое цветение», на севере в подзоне северной тайги наблюдается лишь проклёвывание почек.

Различий в горной и равнинной части северной тайги в регионе не выявлено. В средней тайге горной полосы и восточных предгорий представлено максимальное количество состояний — 6, от начала бутонизации в ее северной части до массового цветения на южной границе. Почти субмеридиональное положение изофен иллюстрирует влияние горного рельефа. Это определено барьерной ролью Уральских гор, условия которых препятствуют раннему сходу снега, быстрому прогреванию и просыханию почвы, в том числе в предгорьях, активным ростовым процессам вида в первой декаде мая.



Условные знаки

- | | | | |
|-----------------|------------------------------|----------------------------------|---|
| ○ | Населенные пункты | Фенологическое состояние | 6 баллов - окрашенные бутоны |
| ▭ | Граница Свердловской области | 1 балл - набухание почек | 7 баллов - начало цветения |
| ○ | Изофены | 2 балла - проклевывание почек | 8 баллов - массовое цветение |
| Граница: | | 3 балла - начало бутонизации | 9 баллов - начало отцветания |
| ▬ | Физико-географических стран | 4 балла - "разрыхление" соцветий | |
| ▬ | Географических зон | 5 баллов - соцветия-кисти | Физико-географические страны: |
| ▬ | Географических подзон | | 1. Восточно-Европейская равнинная страна |
| ▬ | Природных районов | | 2. Новоземельско-Уральская равнинно-горная страна |
| | | | 3. Западно-Сибирская равнинная страна |

Рисунок. Многолетнее состояние развития черемухи обыкновенной 15 мая

Скорость продвижения явления здесь составляет до 3 баллов/100 км. В Западно-Сибирской средней тайге конфигурация изофен меняется на субширотную и продвижение фронта явления происходит со скоростью 0,7 балла/100 км. Вероятно, определяющим фактором здесь, наряду с широт-

ным распределением солнечной радиации, задерживающим развитие вида, служит большее количество осадков зимнего периода и меньшее количество солнечных дней в начале весны в связи с перестройкой циркуляции атмосферы.

Южная тайга западных предгорий Урала и в Западной Сибири характеризуется массовым цветением и началом отцветания черемухи. Горная полоса Среднего Урала, восточные предгорья отличаются субмеридиональным положением изофен и скоростью прохождения явления вверх по склону до 1,1–1,4 балла/100 м (до 3 суток на 100 м высоты). Для Зауральского пенеплена отмечен минимальный разброс состояний — от массового цветения до начала отцветания. Изофены в северной части южной тайги здесь проходят почти субмеридионально, за исключением участка между Алапаевском и Ирбитом, где запаздывание в развитии в 2–2,5 суток, вероятно, может быть обусловлено наличием долин рек, более поздним ледоходом на них и сходом снега в долинах.

Лесостепные районы равнин области также характеризуются минимальными различиями в сезонном развитии вида, здесь субширотный ход изофен определяется количеством солнечной энергии весной, быстрым стаиванием снега вследствие его небольшого объема и просыханием почвы. Скорость продвижения явления в южной части области от 0,6 баллов/100 км на западе до 0,4 баллов/100 км на востоке. Продвижение с юга на север происходит разными темпами: в западных предгорьях 1,2 баллов/100 км, в горной полосе до 1,4 баллов/100 км. В восточных предгорьях 1,1 балла/100 км, а в Западной Сибири до 0,8 балла/100 км. По нашим предварительным расчетам разница в 1 балл, в среднем, в горных территориях соответствует скорости продвижения явления в 3–4 суток, на равнинах — 1,5–2,5 суток.

Выводы

Пространственный анализ данных всей совокупности средней многолетней балльной цифровой характеристики весеннего развития вида за период 2012–2023 гг. подтверждает влияние широтной зональности, секторности, характера рельефа. Весенняя динамика черемухи в лесостепи и в южной тайге характеризуется большей интенсивностью на равнинных территориях, а также в восточных и западных предгорьях Урала. В средней тайге разница в наступлении явлений между горными и равнинными территориями на одной широте колеблется от 1 до 3 баллов (2–5 суток). В горной и равнинной частях северной тайги явления протекают равномерно медленно. В целом, в горных территориях явления наступают с заметным отставанием, доходящим до разницы в 6 баллов с соседними природными комплексами.

Изучение пространственных закономерностей развития видов-феноиндикаторов служит перспективным направлением исследований динамики ландшафтов. Дальнейшая разработка методики моделирования и прогнозирования развития явлений для территорий в зонах с наименьшим количеством наблюдений или отсутствующими населенными пунктами даст возможность определить характер временных сдвигов, позволит получить инструмент оценки степени воздействия климатических изменений на весеннее развитие отдельных природных комплексов.

Список литературы

- 1 Овчинникова Т.М. Анализ изменений сроков сезонных явлений у древесных растений заповедника «Столбы» в связи с климатическими факторами / Т.М. Овчинникова, В.А. Фомина, Е.Б. Андреева, Н.П. Должковая, В.Г. Суховольский // Хвойные бореальной зоны. — 2011. — № 1–2. — С. 54–59.
- 2 Иванов Н.В. Фенологические и термические индикаторы сезонного развития природы / Н.В. Иванов // Фенологическая индикация и фенопрогнозирование. — Л.: РТП ГО СССР, 1984. — С. 17–21.
- 3 Жмылев П.Ю. Возможные причины изменений сезонного развития растений в связи с потеплением климата / П.Ю. Жмылев, А.П. Жмылева, Е.А. Карпухина, А.В. Титовец // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. Биологические науки. — 2001. — № 9. — С. 98–103.
- 4 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.И. Сапельникова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 2016. — Т. XXVIII, № 3. — С. 5–22.
- 5 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.

- 6 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.
- 7 Минин А.А. Фенологические тренды в природе центральной части Русской равнины в условиях современного потепления / А.А. Минин // *Жизнь Земли.* — 2018. — Т. 40, № 2. — С. 162–174.
- 8 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.
- 9 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.
- 10 Коновалова Т.И. Геосистемное картографирование / Т.И. Коновалова. — Новосибирск: Гео, 2010. — 186 с.
- 11 Янцер О.В. Фенологические методы исследований в изучении динамики ландшафтов: общий обзор / О.В. Янцер, Н.В. Скок // *Вестн. Башкир. гос. ун-та. Сер. География.* — 2016. — № 1. — С. 91–100.

О.В. Янцер

Кәдімгі мойылдың көктемгі дамуы ландшафтардың уақытша күйлерінің көрсеткіші ретінде (Свердлов облысы)

Мақалада 2012-2023 жылдарға арналған Свердлов облысының аумағында 15 мамырда Бірыңғай фенологиялық күн өткізілген кезінде кәдімгі мойылдың көктемгі дамуын зерттеудің нәтижелері келтірілген. Сипаттамалық әдісті қолдана отырып, түрдің маусымдық жағдайын зерттеу фенологиялық фазалардың басталуының географиялық заңдылықтарын және қоршаған орта факторларына байланысты табиғи аймақтар мен ішкі аймақтар ішіндегі кеңістіктегі құбылыстың даму жылдамдығын анықтауға мүмкіндік берді. Облыстың оңтүстік-шығысы мен оңтүстік-батысында кәдімгі мойылдың ертерек дамуы анықталды, содан кейін бағыты солтүстік пен солтүстік-батысқа қарай жылжиды. Аумақтың солтүстік және оңтүстік аудандары арасындағы айырмашылықтар орташа есеппен 6-7 балды құрайды. Бақылау нәтижесінде табиғи кешендердің жай-күйін қысқаша математикалық түрде индикациялайтын объектінің маусымдық даму сипаттамасы алынды. Ресей жазығы мен Батыс Сібірдің орманды-дала аймағында зерттелетін аймақтың шекараларында дамудың максималды ілгерілеуі анықталды. Облыстың таулы аймақтарында құбылыстар жазықтармен салыстырғанда 6 балдық артта қалумен келеді. Құбылыстың әртүрлі ішкі аймақтарда өту жылдамдығы 0,8-ден 3 балл/100 км-ге дейін. Елдің басқа аймақтары үшін осындай көп жылдық зерттеулердің тәжірибесі климаттың өзгеруінің өсімдіктердің жеке феноиндикатор түрлерінің бейімделу механизмдеріне әсер ету тенденцияларын анықтауға көмектеседі.

Кілт сөздер: маусымдық динамика, табиғи аймақ, кәдімгі мойыл, Свердлов облысы, Орал.

O.V. Yantser

Spring development of common bird cherry as an indicator of temporal states of landscapes (Sverdlovsk region)

The article presents the results of a study of the spring development of the common bird cherry during the Single Phenological Day on May 15 in the Sverdlovsk region for 2012-2023. The study of the seasonal state of the species using the descriptive method made it possible to determine the geographical patterns of the onset of phenological phases and the rate of movement of the phenomenon in space within natural zones and subzones, depending on environmental factors. Earlier development of bird cherry in the south-east and south-west of the region was revealed, and then the front of the phenomenon moves to the north and north-west. The differences between the northern and southern regions of the territory, on average, are 6-7 points. As a result of observations, a characteristic of the seasonal development of an object indicating the state of natural complexes in a brief mathematical form was obtained. The maximum advance of development was revealed in the forest-steppe zone of the Russian Plain and Western Siberia within the boundaries of the studied region. In the mountainous regions of the region, phenomena occur with a noticeable lag of 6 points compared to the plains. The speed of the phenomenon in different subzones ranges from 0.8 to 3 points / 100 km. The experience of this kind of long-term research for other regions of the country can help to identify trends in the influence of climate change on the adaptation mechanisms of individual plant species- phenoindicators.

Keywords: seasonal dynamics, natural zone, common bird cherry, Sverdlovsk region, Ural.

References

- 1 Ovchinnikova, T.M., Fomina, V.A., Andreeva, E.B., Dolzhkovaya, N.P., & Suhovolsky, V.G. (2011). Analiz izmenenii srokov sezonnykh yavlenii u drevesnykh rastenii zapovednika «Stolby» v svyazi s klimaticheskimi faktorami [Analysis of changes in the timing of seasonal phenomena in woody plants of the Stolby Nature Reserve in connection with climatic factors]. *Khvoinye borealnoi zony — Conifers of the boreal zone*, 1–2, 54–59 [in Russian].
- 2 Ivanov, N.V. (1984). Fenologicheskie i termicheskie indikatory sezonnogo razvitiia prirody [Phenological and thermal indicators of seasonal development of nature]. *Fenologicheskaya indikatsia i fenoprognostirovanie — Phenological indication and phenological forecasting*. Leningrad: RTP GO USSR, 17–21 [in Russian].
- 3 Zhmylev, P.Yu., Zhmyleva, A.P., Karpukhina, E.A., & Titovets, A.V. (2001). Vozможные причины izmenenii sezonnogo razvitiia rastenii v svyazi s potepleniem klimata [Possible reasons for changes in the seasonal development of plants in connection with climate warming]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya Ekologiya i bezopasnost zhiznedeiatel'nosti. Biologicheskie nauki — Bulletin of the Russian Peoples' Friendship University. Series: Ecology and life safety. Biological Sciences*, 9, 98–103 [in Russian].
- 4 Minin, A.A., Rankova, E.Ya., Rybina, E.G., & Sapelnikova, I.I. (2016). Fenoindikatsiia izmenenii klimata za period 1976–2015 gg. v tsentralnoi chasti evropeiskoi territorii Rossii: bereza borodavchataia (povislaia) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), chermukha obyknovennaia (*Padus avium* Mill.), ryabina obyknovennaia (*Sorbus aucuparia* L.), lipa melkolistnaia (*Tilia cordata* Mill.) [Phenoindication of climate change for the period 1976–2015. in the central part of the European territory of Russia: silver birch (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), bird cherry (*Padus avium* Mill.), mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.), small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.)]. *Problemy ekologicheskogo monitoring i modelirovaniia ekosistem — Problems of environmental monitoring and ecosystem modeling*, XXVIII (3), 5–22 [in Russian].
- 5 Minin, A.A., & Voskova, A.V. (2014). Gomeostaticheskie reaktzii derevev na sovremennye izmeneniia klimata: prostvenno-fenologicheskie aspekty [Homeostatic responses of trees to modern climate changes: spatial and phenological aspects]. *Ontogenez — Ontogenesis*, 45 (3), 162–169 [in Russian].
- 6 Kramer, K., Leinonen, I., & Loustau, D. (2000). The importance of phenology for the evaluation of the impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: an overview. *Int. Journ. Biomet*, 44, 67–75.
- 7 Minin, A.A. (2018). Fenologicheskie trendy v prirode tsentralnoi chasti Russkoi ravniny v usloviakh sovremennogo potepleniia [Phenological trends in the nature of the central part of the Russian Plain in conditions of modern warming]. *Zhizn Zemli — Life of the Earth*, 40(2), 162–174 [in Russian].
- 8 Ovaskainen, O., Meyke, E., & Lo, C. (2020). Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology. *Scientific Data*, 7 (47); 1–12.
- 9 Ivanova, U.R., Skok, N.V., & Yantser, O.V. (2019). Spatial Heterogeneity in Phenological Development of Prunus Padus L. In The Yekaterinburg City. *Geography, environment, sustainability*, 2 (12); 273–281.
- 10 Konovalova, T.I. (2010). *Geosistemnoe kartografirovaniie [Geosystem mapping]*. Novosibirsk: Geo [in Russian].
- 11 Yantser, O.V. & Skok, N.V. (2016). Fenologicheskie metody issledovaniia v izuchenii dinamiki landshaftov: obshchii obzor [Phenological research methods in the study of landscape dynamics: a general overview]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geografiia — Bulletin of the Bashkir State University. Series Geography*, 1, 91–100 [in Russian].

Information about authors

Yantser, Oksana Vasilyevna — Associate Professor, Candidate of geographical sciences; Director of the Institute of Natural Sciences, Physical Culture and Tourism; Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, Russia; ksenia_yantser@bk.ru.