

Научная статья

УДК 633.878.43+581.9(47)

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-4-48-66

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАЦИИ БЕРЁЗЫ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА ПЕРИОД С 1948 ПО 2016 ГГ.

Янцер О. В.¹, Иванова Ю. Р.², Минин А. А.³

¹ Уральский государственный педагогический университет
620091, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, д. 26, Российская Федерация
e-mail: ksenia_yantser@bk.ru; ORCID: 0000-0003-1346-5512

² Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина
620026, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 48а, Российская Федерация
e-mail: miss.nocentra@list.ru; ORCID: 0000-0001-7918-5324

³ Институт глобального климата и экологии им. академика Ю. А. Израэля
107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б, Российская Федерация
e-mail: aminin1959@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8006-819X

Поступила в редакцию 19.08.2024

После доработки 28.10.2024

Принята к публикации 31.10.2024

Аннотация

Цель. Изучить географические различия и оценить тренды продолжительности вегетации берёзы пушистой и повислой в границах её ареала в природных зонах России (леса-тундра, тайга, смешанные и широколиственные, муссонные смешанные леса, лесостепи, степи).

Процедура и методы. Произведены расчёты и оценены средние многолетние сроки начала развёртывания листьев (зеленения) и полного изменения окраски листьев (полного пожелтения) берёзы (*Betula pubescens*, *Betula Pendula* Roth.) для 290 пунктов за период 1948–2016 гг., продолжительности жизни листвы за 1964–1995 гг. с использованием результатов полевых наблюдений, проведённых классическим (первичным) методом (регистрируется дата наступления явления на определённой территории). В работе использованы данные, собранные по программам Уральского общества любителей естествознания (УОЛЕ), фенологической комиссии Всесоюзного географического общества, Русского географического общества и сети ООПТ России – материалы фенологического раздела Летописей природы Воронежского, Центрально-Лесного, Жигули, Волжско-Камского, Денежкин камень, Басеги, Печоро-Илычского, Вишерского, Башкирского, Висимского, Ильменского, Южно-Уральского, Шульган-Таш, Шайтан-Тай и Оренбургского (Буртинский и Айтутарский участки), Малая Сосьва, Олекминского, Кедровая падь, Алтайского, Баргузинского, Зейского, Сихотэ-Алиньского заповедников. При статистической обработке материалов оценены средняя многолетняя дата наступления явления ($X_{cp.}$), дисперсия (σ^2), стандартное отклонение (ошибка) среднего значения (σ) и крайние даты регистрации явления. Скорость продвижения сезонного явления рассчитана количеством километров, которое оно преодолевает за 1 сутки. Широтный фенологический градиент –

это время (число суток), в течение которого фронт сезонного явления перемещается на 1° широты (111 км). Для проведения интерполяции и визуализации пространственного изменения фенологических процессов использована кроссплатформенная геоинформационная система (ГИС) QGIS Desktop версии 3.14.16.

Результаты. Рассчитаны, закартографированы и проанализированы сроки и скорость начала зеленения и полного пожелтения, широтный фенологический градиент, продолжительность жизни листвы берёзы и тренды в её динамике. За период с 1948 по 2016 гг. скорость продвижения волны зеленения на Европейской территории России (ЕТР) составляет 30–56 км/сут, в азиатской части, на Дальнем Востоке – 30–57 км/сут. Скорость продвижения пожелтения соответственно 43–60 и 56–230 км/сут. за этот же временной промежуток. Продолжительность жизни листвы берёзы составляет от 170 дней в степной зоне до 100 дней на северной границе ареала. Продвижение «волн» зеленения и пожелтения берёзы с 1948 по 2016 г. через ЕТР составляет 63 и 42 дня, в азиатской части – 53 и 21 день соответственно. Влияние на прохождение «волн» оказывают региональные особенности климата и крупные горные массивы.

Теоретическая и/или практическая значимость. Изучение пространственно-временных особенностей вегетации индикаторных видов позволит лучше понять закономерности развития биоты и её реакцию на климатические изменения. Полученные результаты можно применять для разработки стратегий управления лесами, планирования лесохозяйственных мероприятий и мониторинга лесов.

Ключевые слова: природная зона, вегетация, сезонная динамика, феноиндикаторы, фенологические наблюдения

Благодарности. Авторы выражают благодарность за поддержку исследования Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество»; за консультационную помощь: П. А. Лебедеву, руководителю фенологического центра БИН РАН им. В. Л. Комарова, г. Санкт-Петербург; за предоставленные материалы: Н. Б. Куянцевой (Ильменский заповедник), И. В. Прокошевой (Вишерский заповедник), Т. К. Тертице (Печоро-Илычский заповедник), К. А. Возьмителю, А. Е. Квашниной, Г. М. Неустроевой (заповедник «Денежкин камень»), И. В. Быстрову (ФГБУ «Заповедники Оренбуржья»), М. Ш. Барлыбаевой (Южно-Уральский государственный заповедник), М. И. Набиуллину (Башкирский государственный заповедник), Н. Р. Леушиной, Н. А. Зенковой, Е. М. Ульяновой (Государственный заповедник «Басеги»), А. В. Хлопотовой и М. Ю. Федорову (Висимский государственный биосферный заповедник).

Original Research Article

SPATIAL AND TEMPORAL FEATURES OF BIRCH VEGETATION ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE PERIOD 1948–2016

O. Yantser¹, U. Ivanova², A. Minin³

¹ Ural State Pedagogical University

pr. Kosmonavtov 26, Yekaterinburg 620091, Russian Federation

e-mail: ksenia_yantser@bk.ru; ORCID: 0000-0003-1346-5512

² Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin

ul. Kuibysheva 48a, Yekaterinburg 620026, Russian Federation

e-mail: miss.nocentra@list.ru; ORCID: 0000-0001-7918-5324

³ *Institute of Global Climate and Ecology named after Academician Yu. A. Israel*
ul. Glebovskaya 20B, Moscow 107258, Russian Federation
e-mail: aminin1959@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8006-819X

Received 19.08.2024

Revised 28.10.2024

Accepted 31.10.2024

Abstract

Aim. To study geographical differences and assess trends in the vegetation period of downy birch and silver birch within their range across the natural zones of Russia (forest-tundra, taiga, mixed and broad-leaved forests, monsoon mixed forests, forest-steppe, and steppe).

Methodology. Calculations and assessments were conducted for the average long-term dates of leaf unfolding (greening) and complete leaf color change (full yellowing) of birch trees (*Betula pubescens*, *Betula pendula* Roth.) at 290 observation points during the period from 1948 to 2016, and for leaf lifespan from 1964 to 1995. Data was collected through classical phenological field observations using the primary method of recording dates of seasonal events within specified territories. Observational data were sourced from programs of the Ural Society of Natural Science Enthusiasts, the Phenological Commission of the All-Union Geographical Society, the Russian Geographical Society, and Russia's network of protected areas. The study utilized phenological data from protected areas such as Voronezh, Central Forest, Zhiguli, Volga-Kama, Denezhkin Kamen, Basegi, Pechoro-Ilych, Vishera, Bashkir, Visim, Ilmen, South Ural, Shulgan-Tash, Shaitan-Tau, Orenburg (Burtinsky and Aytursky sectors), Malaya Sosva, Olekminsky, Kedrovaya Pad, Altai, Barguzinsky, Zeisky, and Sikhote-Alinsky nature reserves, as documented in the Phenological Sections of Nature Chronicles of these reserves.

Statistical analysis included the calculation of average long-term event dates ($\bar{X}$ avg.), variance (σ^2), standard deviation (error) of the mean (σ), and extreme event registration dates. The speed of seasonal event progression was calculated in kilometers traveled per day. For interpolation and visualization of spatial phenological processes, the cross-platform Geographic Information System (GIS) QGIS Desktop version 3.14.16 was used.

Results. The timing and speed of birch greening and yellowing, the latitudinal phenological gradient, birch leaf lifespan, and their trends were calculated, mapped, and analyzed. During the period from 1948 to 2016, the speed of the greening wave across the European part of Russia ranged from 30 to 56 km/day, while in the Asian part, including the Far East, it ranged from 30 to 57 km/day. The speed of the yellowing wave for the same time frame was 43–60 km/day in the European part and 56–230 km/day in the Asian part. The Birch leaf lifespan ranged from 170 days in the steppe zone to 100 days at the northern range boundary. The propagation of greening and yellowing waves from 1948 to 2016 spanned 63 and 42 days across European Russia and 53 and 21 days in the Asian part, respectively. The progression of these waves is influenced by regional climate characteristics and major mountain ranges.

Research implications. The study of spatial-temporal features of vegetation in indicator species enhances our understanding of biota development patterns and their responses to climate change. The findings can be used for developing forest management strategies, planning forestry activities, and monitoring forest conditions. The study of spatial-temporal features of vegetation in indicator species enhances our understanding of biota development patterns and their responses to climate change. The findings can be used for developing forest management strategies, planning forestry activities, and monitoring forest conditions.

Keywords: natural zone, vegetation, seasonal dynamics, phenological indicators, phenological observations

Acknowledgments: The authors express their gratitude for the support of the research by the All-Russian Public Organization "Russian Geographical Society"; for consultation assistance provided by P. A. Lebedev, head of the Phenological Center of the BIN RAS named after V. L. Komarov, St. Petersburg; for the materials provided by N. B. Kuyantseva (Ilmen Reserve), I. V. Prokosheva (Vishersky Reserve), T. K. Tertitsa (Pechora-Ilychsky Reserve), K. A. Vozmitel, A. E. Kvashnina, G. M. Neustroeva (Denezhkin Kamen Reserve), I. V. Bystrov (Federal State Budgetary Institution "Reserves of Orenburg Region"), M. Sh. Barlybayeva (South Ural State Reserve), M. I. Nabiullina (Bashkir State Reserve), N. R. Leushina, N. A. Zenkova, E. M. Ulyanova (Basegi State Reserve), A. V. Khlopotova and M. Y. Fedorov (Visim State Biosphere Reserve).

Введение

Одной из актуальных проблем в последние годы является изучение реакции растений на колебания климата [4; 5; 6; 10; 12; 13; 17; 19; 22; 23; 24; 26; 28; 29; 33; 34; 35; 36; 37; 38]. Один из способов фиксировать такие реакции, особенно в регионах со сложной ландшафтной структурой, – многолетние полевые фитофенологические наблюдения и исследования [6; 7; 17]. Потепление климата можно идентифицировать по результатам анализа фитофенологических тенденций, выражающихся для многих видов растений в изменении сроков наступления сезонных явлений.

В ряде публикаций отмечается противоречивость выводов, сделанных исключительно на основе анализа геопространственных данных без учёта результатов полевых исследований [4]. В отличие от таких подходов, наше исследование базируется на репрезентативных данных, полученных в результате полевых исследований, что обеспечивает высокую степень достоверности данных и детальности анализа. Использование эмпирических данных позволяет учесть локальные особенности и минимизировать риски ошибок, связанных с интерполяцией

и агрегированием данных на крупных территориальных масштабах

Географические различия в сроках наступления фенологических событий на макроуровне обусловлены широтной зональностью, секторностью климата и влиянием крупных форм рельефа [2; 14; 15; 16; 23; 25]. Продолжительность жизни листвы определяется также генетическими факторами [1; 18; 27]. Берёза – одна из основных древесных пород, часто изучаемых в фенологических исследованиях в бореальных лесах. Это связано, в первую очередь, с её широким распространением – различные виды встречаются от умеренных до субарктических регионов [3; 8; 27]. Кроме того, берёза быстро реагирует на изменение температуры и других факторов, а также обладает чёткими фенологическими стадиями, которые сравнительно легко можно фиксировать. По занимаемой площади берёза стоит на третьем месте после лиственницы и сосны, является одной из основных лесообразующих пород [9]. В России, особенно в её европейской части, широко распространены 2 вида: берёза пушистая (*Betula pubescens*) и берёза повислая (*Betula pendula* Roth.). Не все наблюдатели уверенно различают эти 2 вида, поэтому

далее будет использовано общее родовое название – берёза. Кроме того, исследования показали, что у разных видов берёз фенофазы начинаются при одинаковых экологических условиях, которые являются общими для рода *Betula* [2; 7; 22]. Внутригодовые ритмические изменения в развитии берёзы выполняют важную роль индикатора наступления ряда сезонных состояний биоты в умеренных широтах [11; 30; 32].

Цель данного исследования – выявить географические различия и оценить тренды продолжительности вегетации берёзы пушистой и повислой в разных природных зонах России. В задачи входит сбор первичных материалов, их статистическая обработка и анализ, а также выявление региональных особенностей на основе ГИС-модели для визуализации продолжительности вегетации берёзы.

Влияние природных условий на продолжительность жизни листвы берёзы по результатам многолетних наблюдений

Термин «вегетационный период» получил широкое распространение, однако различные подходы к его определению остаются предметом дискуссий [6; 10; 22]. В настоящем исследовании мы ограничили изучение пространственных аспектов продолжительности жизни листвы берёзы ключевыми фазами фенологии: началом зеленения (развёртывание листьев) и полным пожелтением (полное изменение окраски). Эти фенологические явления выбраны в силу их наглядности, лёгкости идентификации и высокой достоверности при наблюдениях широким кругом исследователей [20; 30].

В ходе анализа архивных материалов Фенологического центра БИН РАН им. В. Л. Комарова и материалов летописей природы заповедников были инвентаризированы и систематизированы данные о фенологии берёзы за XIX–XXI вв. Материалы включали наблюдения, проводимые Уральским обществом любителей естествознания (УОЛЕ), фенологической комиссией Всесоюзного географического общества (ВГО) (ныне – Русское географическое общество, РГО), а также материалы сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ), включая Летописи природы заповедников (Воронежского, Центрально-Лесного, Жигули, Волжско-Камского, Денежкин камень, Басеги, Печоро-Илычского, Вишерского, Башкирского, Висимского, Ильменского, Южно-Уральского, Шульган-Таш, Шайтан-Тау и Оренбургского (Буртинский и Айтуарский участки), Малая Сосьва, Олекминского, Кедровая падь, Алтайского, Баргузинского, Зейского, Сихотэ-Алиньского)¹. Эти наблюдения основывались на унифицированной методике сбора фитофенологических данных, что обеспечивало их сопоставимость и достоверность [20; 31].

Статистическая обработка собранного массива первичных данных охватывала 290 пунктов наблюдений за пе-

¹ Архивы заповедников, Летописи природы: Вишерского заповедника. 1994–2017 гг. Красновишерск; государственных природных заповедников «Оренбургский» и «Шайтан-Тау». 1992–2018 гг. Оренбург; заповедника «Басеги». 1989–2013. Кн. 2–26. Гремячинск; заповедника «Денежкин камень». 1947–2019 гг. пос. Всеволодо-Благодатское; Ильменского государственного заповедника им. В. И. Ленина. 1941–2018 гг. Миасс; Печоро-Илычского государственного природного биосферного заповедника. 1936–2019 гг. пос. Якша.

риод 1948–2016 гг. В ходе анализа были рассчитаны средние сроки наступления фенологических явлений, включая начало зеленения и полное пожелтение. Средние даты определялись как арифметические средние значения, полученные за каждый отдельный год. Исключались аномальные значения с отклонениями более ± 3 суток от средних. Рассчитаны также дисперсия (σ^2), стандартное отклонение (σ) и доверительные интервалы ($X_{\text{ср.}} \pm 2\sigma$) с уровнем значимости 95% [6; 11]. Отбор пунктов для анализа и картографирования был обусловлен наличием непрерывных рядов наблюдений за зеленением и пожелтением листвы берёзы с 1948 по 2016 г. В результате из 290 пунктов репрезентативными оказались 70 с длинной рядов не менее 24 года, массовый диапазон – с 1964 по 1995 г.

Динамические параметры – скорость и траектория прохождения процесса – используются для описания сезонной ритмики. Скорость продвижения сезонного явления по территории можно измерять количеством километров, которое оно преодолевает за 1 сутки. Величина, обратная скорости, известная как широтный фенологический градиент, представляет собой время (число суток), в течение которого фронт сезонного явления перемещается на 1° широты, что составляет 111 км. Траектория продвижения фронта сезонного явления иллюстрирует направление перемещения от областей с более ранним наступлением сезонного события к областям с более поздним проявлением в пространственном отношении. Таким образом, анализ траектории помогает понять, как и куда продвигаются сезонные явления, что имеет большое значение

для прогнозирования и исследования изменений в экосистемах.

На основе интерполяции данных были построены пространственные модели в геоинформационной системе (ГИС) QGIS Desktop версии 3.14.16. Это позволило визуализировать пространственное распределение фенологических явлений. Результаты картографического анализа демонстрируют широтный ход изофен на европейской территории России (ЕТР) (рис. 1). Начало развёртывания ассимиляционного аппарата берёз проходит здесь в течение 69–76 суток, начинаясь на юго-западе в степях Предкавказья во второй декаде апреля. Затем продвигается довольно плавными темпами до 2–3 декады июня на север и северо-восток в северную тайгу и на границу с лесотундрой. Такое распределение подтверждает наличие плавного градиента температурных условий, влияющих на сроки развёртывания ассимиляционного аппарата берёзы.

Скорость продвижения явления с широтой варьирует от западных окраин Восточно-Европейской равнины до Уральских гор, уменьшаясь с 56,2 км/сут. до 38,8 км/сут. и достигает минимальных значений на Урале (29,2 км/сут.). Широтный фенологический градиент изменяется от 2,0 сут. / 1° широты в западной части ЕТР до 3,8 сут. / 1° широты на Урале. Разница между степной и лесостепной зонами составляет 7 суток, между лесостепью и широколиственными лесами – 5–6 суток, по крайним границам от южной до северной тайги – 46 суток, между таёжной и лесотундровой – от 7 до 11 суток. Разница между крайними изофенами на юге и севере (18 апреля и 20 июня соответственно) составляет 63 дня. На

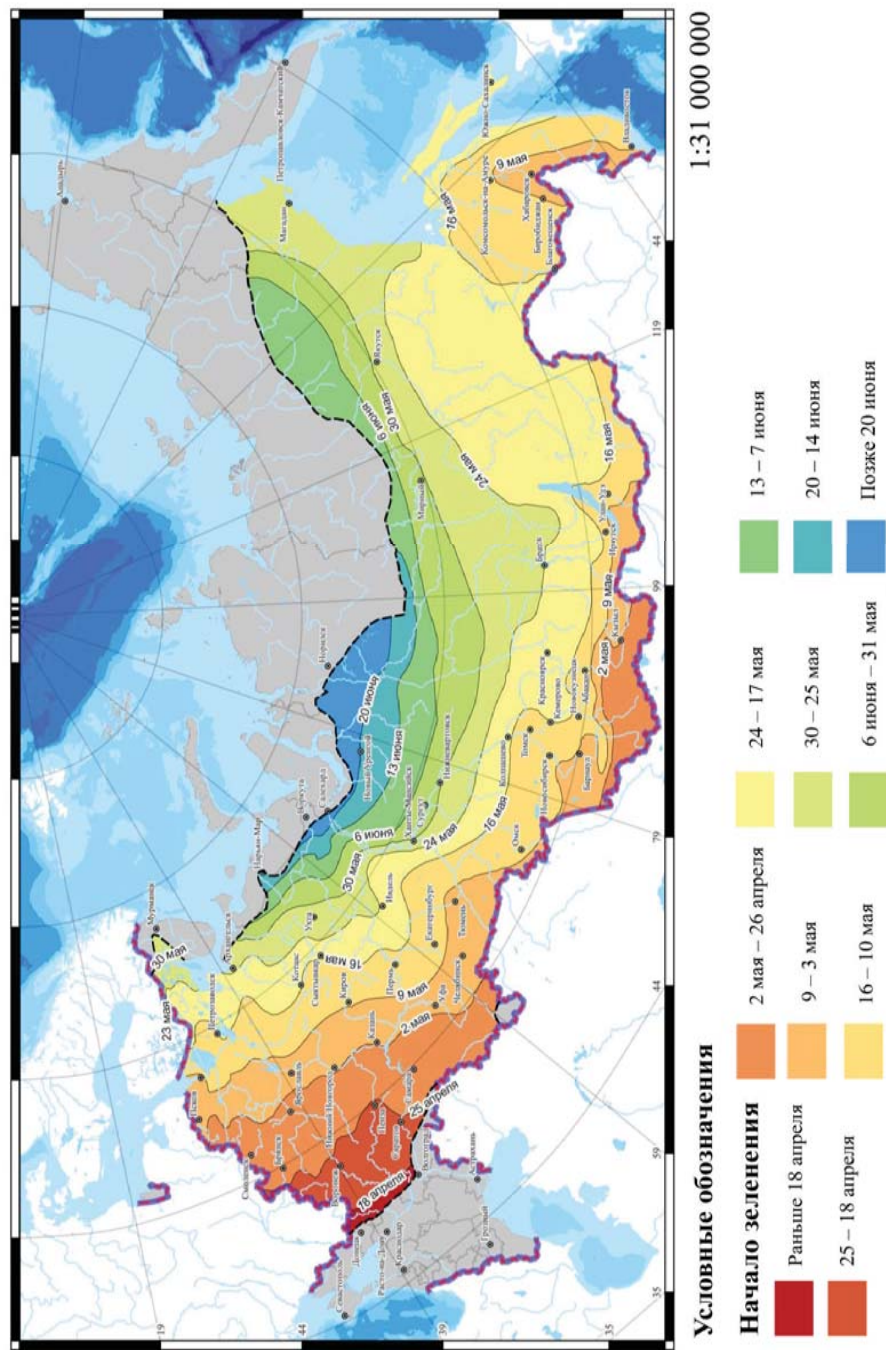


Рис. 1 / Fig. 1. Начало зеленины берёзы / The beginning of the greening of the birch

Источник: авторы-составители О. В. Янцер, Ю. Р. Иванова

Восточно-Европейской равнине при движении от западных окраин на восток с нарастанием континентальности климата на одной широте зеленение берёзы происходит позже. На широте от 63° с.ш. до северного полярного круга разница составляет до 14 суток, на широтном отрезке между 57 и 62 параллелями – 7 дней, на 55 параллели различия не выражены. Южнее различия также увеличиваются до 7 суток. Влияние орографических факторов отражается в сдвиге изофен на возвышенностях, таких как Тиманский кряж, Северные Увалы и Общий Сырт, где наблюдается отклонение на 2–3° широты в сторону юга и юго-востока.

В азиатской части России фенологическая динамика отличается неравномерностью. Направление продвижения начала зеленения берёзы в Западной и Южной Сибири преимущественно с юга на север, на Дальнем Востоке – с юго-востока на север и северо-запад. Скорость продвижения зеленения берёзы варьируется от 26,9 км/сут. до 41,8 км/сут., достигая максимума в Забайкалье (57,5 км/сут.). Широтный градиент в этих регионах составляет 3 сут. / 1° широты, увеличиваясь в Зауралье и Западной Сибири до 4,1 сут. / 1° широты и уменьшаясь к востоку до 2,6 сут./1° широты.

Разница в сроках начала явления в азиатской части страны между степной и лесостепной зонами – от 5 до 9 суток, между лесостепной и таёжной зонами – до 28 суток между таёжной и лесотундровой – 7–9 суток. Разница между крайними изофенами на юге и севере (2 мая и 20 июня соответственно) составляет 49 дней. Заметное влияние на сроки зеленения оказывают крупные реки, например, Обь, Мая,

Алдан, в долинах которых наблюдается запаздывание по сравнению с более северными районами и даже нижними частями горных склонов из-за теплопотерь на таяние льда и замедленное прогревание почвы. Такое влияние особенно выражено в предгорьях Сунтар-Хаята, Джугджур и Сихотэ-Алинь. На северо-западном побережье Охотского моря сроки наступления зеленения берёзы запаздывают на 7–15 суток по сравнению с западным побережьем, что также обусловлено ледовой обстановкой моря ранней весной.

Сроки начала зеленения берёзы на берегах крупных озёр демонстрируют интересную закономерность. В северных частях озёр Байкал и Онежского зеленение начинается примерно в одно время – с 16 по 24 мая, а в южных частях этих озёр – с 9 по 16 мая. В целом на территории лесотундры и северной тайги Европейской части России (60–63° с.ш.) сроки зеленения берёзы аналогичны тем, что наблюдаются в горных районах южной тайги в азиатской части страны на широте 55° с.ш.

Скорости прохождения фронта полного пожелтения берёзы на ЕТР – от 58,2 км/сут. до 43,1 км/сут., возрастают на Урале до 60,1 км/сут. От Западной Сибири к востоку также наблюдается более быстрое пожелтение листьев: скорость возрастает от 56,4–149 км/сут., достигая максимума в Забайкалье, – до 229,9 км/сут, несколько снижаясь до 180 км/сут. на Дальнем Востоке. Широтный градиент¹ увеличивается от 1,9 сут. / 1° широты на ЕТР, 3,1 сут. / 1° широты на Урале, снижается в Забайкалье до 2 сут. / 1° широты

¹ Широтный фенологический градиент – это время (число суток), в течение которого фронт сезонного явления перемещается на 1° широты (111 км).

и вновь возрастает до 5,6 сут. / 1° широты на Дальнем Востоке. Разница между крайними изофенами на юге и севере на ЕТР (17 октября и 5 сентября соответственно) составляет 42 дня, в азиатской части (26 и 5 сентября) сокращается в 2 раза – до 21 дня (рис. 2).

Континентальность климата азиатской территории определяет более раннее пожелтение листьев по сравнению с ЕТР на одних широтах. Различия достигают 14 и более суток. Влияние орографических факторов осенью выражено в отклонении изофен с более ранними датами пожелтения листьев на возвышенностях, таких как Смоленско-Московская, Северные Увалы и Общий Сырт, где наблюдается отклонение на 4–5° широты в сторону юга и юго-востока. На сроки пожелтения оказывают влияние крупные внутренние водоёмы как аккумуляторы тепла и влаги, по берегам которых наблюдается запаздывание в пожелтении до 7 суток по сравнению с соседними территориями. Такое влияние особенно выражено на Ладожском озере, юго-западном и юго-восточном побережьях оз. Байкал, Новосибирском водохранилище. Однако на северо-западном побережье Охотского моря пожелтение проявляется более ранними сроками, даже по сравнению с резко континентальными районами Средне-сибирского плоскогорья. Вероятно, сказываются частые туманы в конце лета и увеличение повторяемости северных и северо-восточных ветров на этом побережье в сентябре.

Продолжительность жизни листвы берёзы закономерно сокращается при движении с юга на север, что обусловлено влиянием температурного градиента и уменьшением длины светового

дня (рис. 3). Различия на ЕТР между степями и северной тайгой достигают 70 дней. В степной зоне вегетация берёзы длится до 170 суток, тогда как на северной границе ареала – около 100 суток. Это связано с более суровым климатом северных регионов и более коротким вегетационным периодом, который ограничен поздним началом и ранним завершением ассимиляции у растений.

На Урале разница в продолжительности вегетации берёзы между южными и северными районами составляет в среднем 50 суток. В Сибири различия между лесостепной зоной и северной тайгой уменьшаются до 40 дней, а в Забайкалье и на побережье Дальнего Востока – до 30–40 дней. С продвижением на восток вдоль одной широты от Абакана до побережья Охотского моря вегетационный период у берёзы сокращается с 140 до 120 суток. Эти изменения объясняются увеличением континентальности климата, а также влиянием рельефа, который изменяет локальный микроклимат.

На Восточно-Европейской равнине с увеличением континентальности климата к Предуралью продолжительность вегетации сокращается на 10–20 суток. Влияние рельефа также проявляется в сдвиге изолиний на одной широте к юго-востоку – различия составляют до 10 суток. Например, Среднерусская возвышенность, Тиманский кряж и Предуралье обуславливают локальные изменения. Изофены огибают Приволжскую возвышенность с юга – на ней период вегетации короче, чем у подножья в связи с разницей в высоте в 350–370 м. В долине Оби южнее Барнаула продолжительность жизни листвы меньше, чем в соседних горных

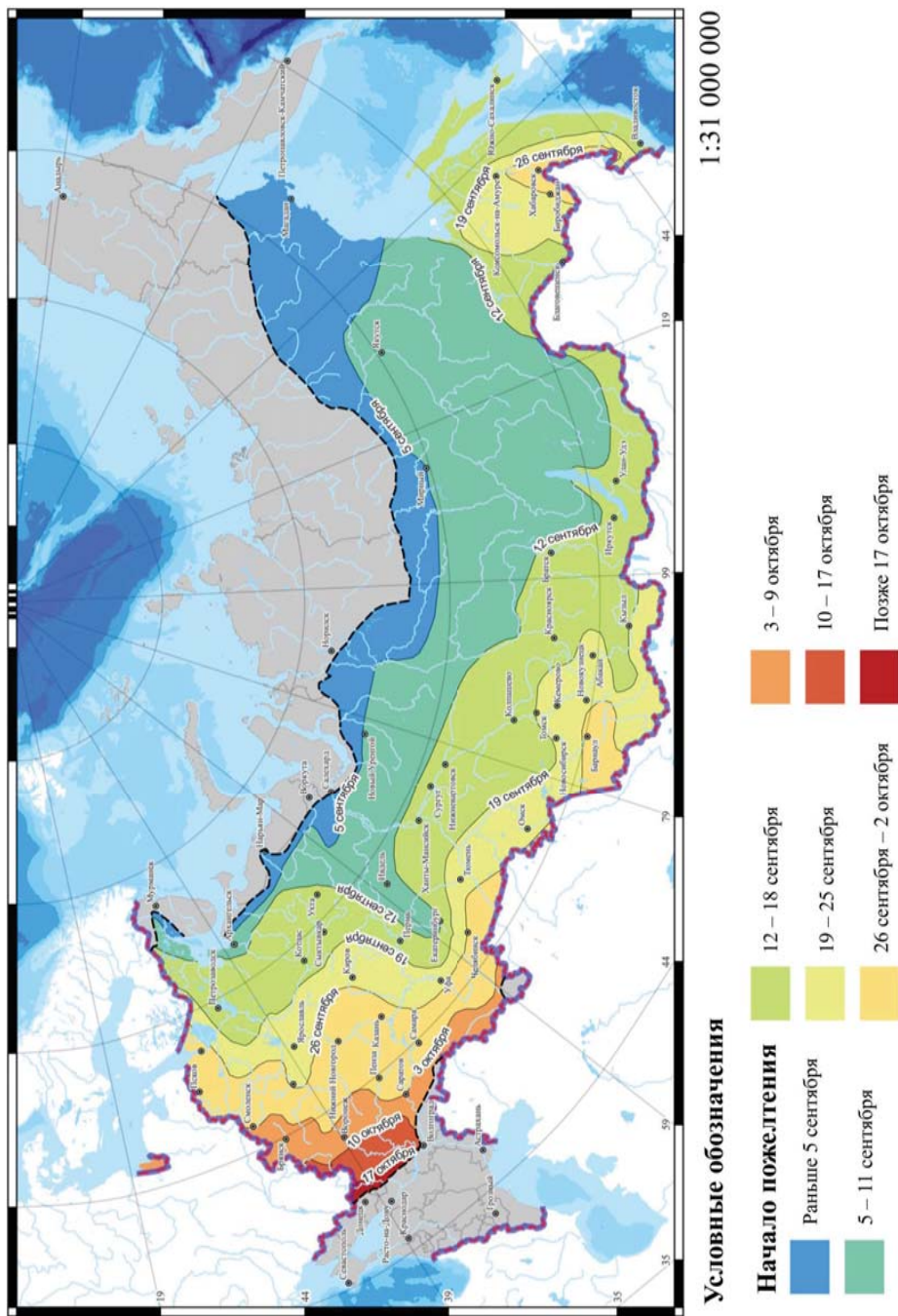


Рис. 2 / Fig. 2. Полное пожелтение берёзы / The complete yellowing of birch

Источник: авторы-составители О. В. Янцер, Ю. Р. Иванова

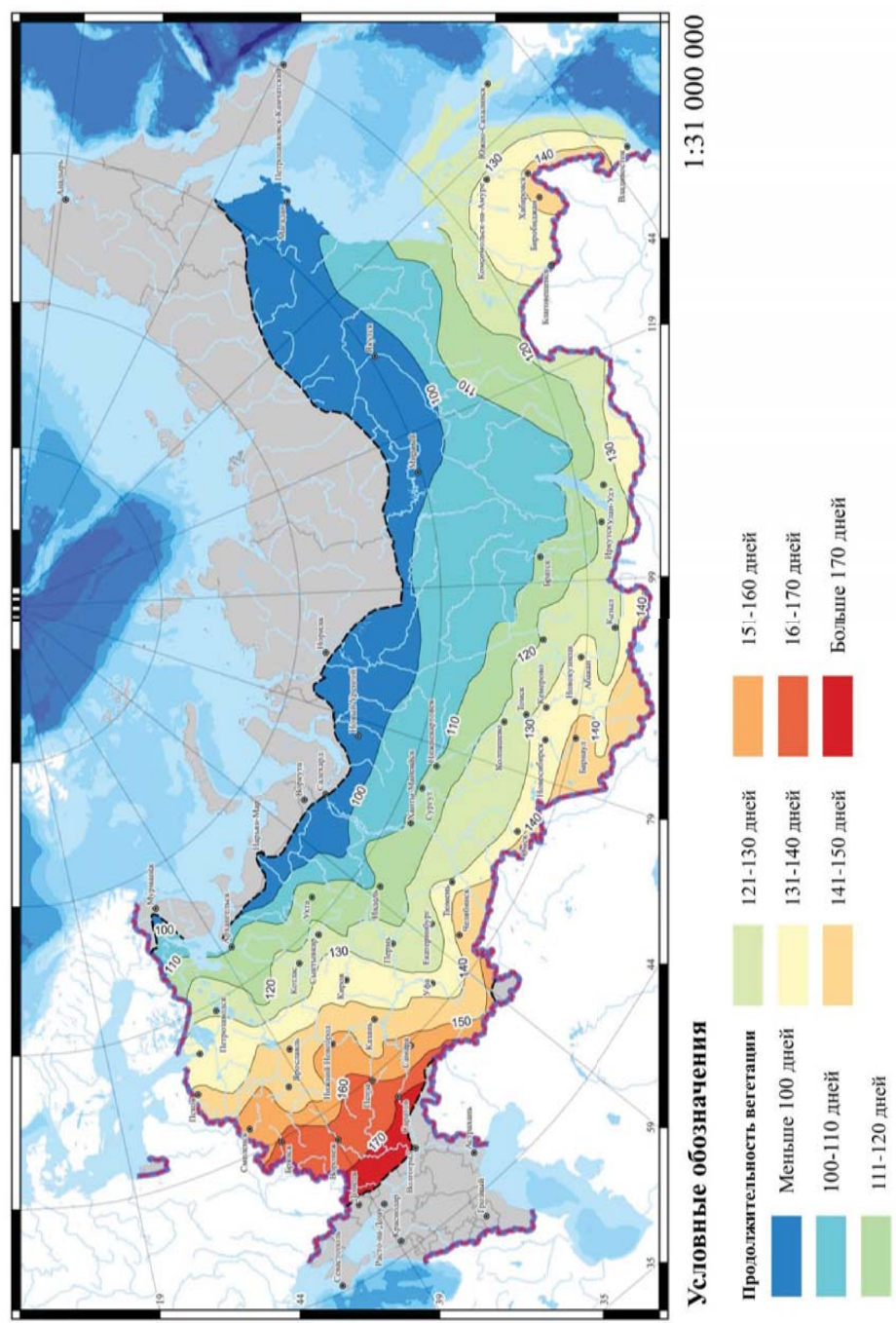


Рис. 3 / Fig. 3. Продолжительность вегетации берёзы / Duration of birch vegetation

Источник: авторы-составители О. В. Янцер, Ю. Р. Иванова

районах, что объясняется особенностями микроклимата речной долины. На Салаирском кряже, напротив, вегетация длится на 10 суток дольше, чем на соседних равнинах Томска. На широте 60–61° с востока от Ханты-Мансийска до Приленского плато период вегетации сокращается на 10 суток, а на побережье Охотского моря – на 20 суток.

Пространственное распределение изофен, отражающих начало зеления, полное пожелтение и продолжительность жизни листвы берёзы показывает ключевую роль термического фактора. Эти процессы зависят от сезонного и географического распределения солнечной энергии. Количество получаемого света определяется продолжительностью светового дня, который выступает предиктором для многих сезонных изменений в природных комплексах умеренных широт [6]. В южных регионах, где тепло приходит раньше и задерживается дольше, вегетационный период берёзы длится дольше, чем в северных широтах.

Зеленение берёзы наступает при устойчивом переходе средней суточной температуры воздуха через +10°C. Сроки зеления тесно связаны со средней температурой весны и началом вегетационного периода – переходом температуры через +5°C. Коэффициенты корреляции этих показателей составляют 0,5–0,7, что подчёркивает значимость температурного фактора в весенних процессах [12; 13]. Однако продвижение «зелёной волны» зависит от особенностей территории. На равнинных участках, таких как ЕТР и Западная Сибирь, изофены имеют широтную ориентацию. В Предуралье, на Урале, в Сибири и на Дальнем Вос-

токе орографический фактор (горные массивы и их ориентация, высота над уровнем моря и экспозиция склонов) вносит существенные поправки в поле изофен.

Схожие закономерности в распределении изофен средних многолетних дат начала зеления берёзы были выявлены на территории России за 1939–1960 гг. [21]. Результаты того периода по пространственным характеристикам изофен в основном совпадают с нашими данными за 1964–1995 гг. Однако на юге Дальнего Востока наблюдается явное изменение: зеленение стало наступать раньше на 10–15 суток (рис. 1).

Процесс пожелтения листьев продвигается с севера на юг. На равнинах ЕТР и Западной Сибири субширотный ход изофен отражает сокращение длины светового дня и более активным снижением среднесуточных температур воздуха и почв в северных территориях. В Предуралье, Уральских горах и Зауралье, в горах Южной Сибири, на Сихотэ-Алине субмеридиональная ориентация изофен обусловлена рельефом, который влияет на свойства воздушных масс,двигающихся со стороны океана. В сравнении с периодом 1939–1960 гг. [21] пожелтение в 1948–2016 гг. на большей части России стало происходить на 5–7 дней раньше, за исключением юга Дальнего Востока, где сроки остались прежними (рис. 2). Следует отметить, что осенние явления на ЕТР и в Азиатской части России проходят быстрее и активнее, чем весенние. Основным фактором является продолжительность светового дня, которая в отличие от температурного фактора не имеет многолетних трендов, жёстко регулирует осенние

процессы в отличие от температуры, меняющейся от года к году. Также характерно, что в Азиатской части и весенние, и осенние события проходят существенно быстрее, чем на ЕТР. Это может быть связано с более ярко выраженной континентальностью климата в Азиатской части России.

Таким образом, картографическое отображение фенологических процессов выявило влияние рельефа и континентальности климата на закономерности пространственно-временной динамики фенологических явлений. Полученные результаты показывают, что мезорельеф, перераспределяющий тепло и влагу, оказывает значительное влияние на протекание фенологических процессов. Анализ трендов изменения продолжительности жизни листвы берёзы за период с 1964 по 1995 г. не выявил чёткой тенденции в большинстве пунктов наблюдений, что может быть связано с локальными особенностями среды и различными климатическими аномалиями. Тем не менее следует отметить, что в период с 1970 по 2000 г. на ЕТР было зафиксировано увеличение продолжительности жизни ассимиляционного аппарата у берёзы. По данным исследований А. В. Восковой и коллег [6], период от начала зеленения до окончания листопада увеличился на 4–6 дней в южных районах ЕТР и на 10–14 дней в северных.

Заключение

Продолжительность жизни листвы берёзы является важным индикатором, отражающим влияние как погодных условий, так и совокупности природно-географических факторов. Пространственная изменчивость хро-

нов наступления ключевых индикаторных явлений, таких как развитие ассимиляционного аппарата у берёзы весной и изменение окраски листвы осенью, чётко отражает влияние факторов широтной зональности, секторной дифференциации климата, а также орографических особенностей территории. Сопоставление временных и пространственных характеристик фенологических явлений выявило значительные межрегиональные различия в продолжительности вегетационного периода у берёзы. Наибольшая его протяжённость зафиксирована в южных регионах, где влияние климатических факторов, таких как температура воздуха и продолжительность светового дня, носит ярко выраженный характер. Сокращение периода вегетации берёзы в северных регионах обусловлено жёсткими климатическими условиями, что соответствует выводам предыдущих исследований.

Широтные градиенты дат начала зеленения берёзы изменяются с запада на восток, достигая максимальных значений на Урале и в восточной части Западной Сибири. Аналогично градиенты дат полного пожелтения увеличиваются по направлению к востоку, достигая пика на Дальнем Востоке. Эти закономерности демонстрируют значительное влияние регионального климата, который модифицирует фенологические процессы в различных природных зонах. На одной и той же широте в условиях усиления континентальности климата продолжительность вегетации берёзы сокращается на 30–40 суток, что подчёркивает ведущую роль климатических условий в регулировании сезонной динамики растительности.

Особенностью фенологических процессов является более быстрое продвижение осенних явлений по сравнению с весенними на всей территории России. Наиболее это выражено в азиатской части страны, где высокая континентальность климата ускоряет темпы сезонных изменений. Продолжительность жизни листвы берёзы, варьирующая от 100 до 170 дней в зависимости от широты и природной зоны, также находится под воздействием природно-зональных и секторных различий, что подтверждает высокую чувствительность биоты к изменениям внешней среды.

Изучение сезонной динамики фенологических процессов у индикаторных

видов, таких как берёза пушистая и повилика, позволяет не только выявить их роль в отражении сезонных изменений ландшафтов, но и проанализировать реакцию биоты на трансформации климата. Полученные результаты могут служить основой для прогностической оценки изменений биологического разнообразия в условиях дальнейшего потепления климата. Учёт региональных особенностей необходим для корректного анализа пространственно-временной динамики фенологических процессов, поскольку эти изменения могут существенно варьировать в зависимости от природных условий конкретной территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белова Т. А., Бабкина Л. А. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях древесных растений средней полосы России // Auditorium. 2017. № 2. С. 34–38.
2. Беручашвили Н. Л. Четыре измерения ландшафта. Москва: Мысль, 1986. 180 с.
3. Ветчинникова Л. В. Берёза: вопросы изменчивости (морфофизиологические и биохимические аспекты). М.: Наука, 2004. 183 с.
4. Виноградова В. В. Районирование России по природным условиям жизни населения с учетом экстремальных климатических событий // Известия РАН. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 1. С. 5–13. DOI: 10.31857/S2587556621010167
5. Возможные причины изменений сезонного развития растений в связи с потеплением климата / П. Ю. Жмылев, А. П. Жмылева, Е. А. Карпухина, А. В. Титовец // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. Биологические науки. 2001. № 9. С. 98–103.
6. Воскова А. В., Гордеева З. И., Минин А. А. Изменение продолжительности вегетации у берёзы бородавчатой на Восточно-Европейской равнине за последние десятилетия. // Известия РАН. Серия географическая. 2007. № 3. С. 59–61.
7. Высоцкая А. А., Медведков А. А. Информационные ресурсы для оценки экологического потенциала геосистем (на примере территории Енисейского севера) // Интер-Карто. ИнтерГИС. 2023. Т. 29. Ч. 1. С. 20–33. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-20-33
8. Дроздов С. Н., Холопцева Е. С., Сазонова Т. А. Свето-температурная характеристика семян берёзы пушистой *Betula pubescens* (Betulaceae) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 1. С. 27–36.
9. Елагин И. Н. Сезонное развитие сосновых лесов. Новосибирск: Наука, 1976. 230 с.
10. Ермаков В. И. Механизмы адаптации берёзы к условиям Севера. Л.: Наука, 1986. 144 с.
11. Зайцев Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
12. Зануздаева Н. В., Каримова М. Е. Влияние изменений климата на феноявления в лапландском государственном заповеднике (Мурманская область) // Труды Кольского научного центра РАН / гл. ред. С. В. Кривовичев. 2021. № 6. С. 169–174.

13. Иванова Ю. Р., Скок Н. В. Влияние климатических показателей на продолжительность жизни листвы берёзы в г. Екатеринбурге в 2013–2015 гг. // Современное состояние фенологии и перспективы её развития. Т. 1: мат-лы конф. / под ред. О. В. Янцер и др. Екатеринбург: УрГПУ, 2015. С. 88–98.
14. Исаченко А. Г. Теория и методология географической науки. М.: Академия, 2004. 400 с.
15. Исаченко Г. А. Концепции многолетней динамики ландшафтов и вызовы времени // Вопросы географии: сб. 138. Горизонты ландшафтоведения. М.: Кодекс, 2014. С. 215–232.
16. Исаченко А. Г. Ландшафты СССР. М.: Наука, 1985. 320 с.
17. Исследование сезонной динамики ландшафтов Урала в парадигме функционально-динамического подхода: история и современность / О. Ю. Гурьевских, Ю. Р. Иванова, Н. В. Скок, А. М. Юровских, О. В. Янцер // Географический вестник. 2021. № 1 (56). С. 16–30.
18. Летухова В. Ю., Зуев А. В., Потапенко И. Л. Влияние климатических факторов на продолжительность цветения видов в Карадагском природном заповеднике // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. 2022. № 77. С. 258–265. DOI: 10.55959/MSU0137-0952-16-2022-77-4-258-265
19. Мамай И. И. Динамика ландшафтов: методика изучения. М.: МГУ, 1992. 166 с.
20. Методика ведения фенологических наблюдений / Д. Р. Владимиров, А. А. Гладилин, А. Е. Гнеденко, А. И. Глухов, В. А. Грудинская, Н. С. Здравчев, П. А. Лебедев и др. СПб.: РГО, 2023. 208 с.
21. Сезонная жизнь природы Русской равнины. Дневники природы за 1962–1966 гг. Л.: Наука, 1970. 316 с.
22. Скок Н. В. Связь осенних фенофаз берёзы с климатическими показателями среды // Современные исследования природных и социально-экономических систем. Инновационные процессы и проблемы развития естественнонаучного образования. Т. 1: материалы конф. Екатеринбург: УрГПУ, 2014. С. 171–180.
23. Соловьев А. Н. Климатогенные фенологические тенденции и динамика биоразнообразия // Изменение климата и биоразнообразие России: постановка проблемы. Москва: Акрополь, 2007. С. 23–56.
24. Соловьев А. Н. Биота и климат в XX столетии. М.: Пасья, 2005. 286 с.
25. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1978. 319 с.
26. Титкова Т. Б., Золотокрылин А. Н. Климат зональных ландшафтов равнин России при современном глобальном потеплении в летний период // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 3. С. 391–402. DOI: 10.31857/S2587556623030111
27. Феклистов П. А., Амосова И. Б. Морфолого-физиологические и экологические особенности берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в таежной зоне. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, 2013. 214 с.
28. Фенологические тренды в природе центральной части Русской равнины в условиях современного потепления / А. А. Минин, Ф. Я. Ранькова, Ю. А. Буйволов, И. И. Сапельникова, Т. Д. Филатова // Жизнь Земли. 2018. Т. 40. № 2. С. 162–174.
29. Феноиндикация изменений климата за период 1976–2015 гг. в центральной части Европейской территории России: берёза бородавчатая (повислая) – *Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.) / А. А. Минин, Э. Я. Ранькова, Е. Г. Рыбина, Ю. А. Буйволов, И. И. Сапельникова, Т. Д. Филатова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2016. Т. 27. № 2. С. 17–28. DOI: 10.21513/0207-2564-2016-2-17-28.

30. Физико-географическое районирование и ландшафты Свердловской области / О. Ю. Гурьевских, В. Г. Капустин, Н. В. Скок, О. В. Янцер. Екатеринбург: УГПУ, 2016. 280 с.
31. Филонов К. П., Нухимовская Ю. Д. Летопись природы в заповедниках СССР. Москва: Наука, 1990. 160 с.
32. Широкова Н. П., Рябова М. С. Взаимосвязь фенологии и биологии некоторых видов древесных растений средней полосы России // Молодой учёный. 2014. № 21.1. С. 260–263.
33. Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology / ed. by O. Ovaskainen // Scientific Data. 2020. Vol. 7. P. 1–12. DOI: 10.1038/s41597-020-0376-z
34. Differences in spatial versus temporal reaction norms for spring and autumn phenological events / M. Delgado, T. Roslin, G. Tikhonov, O. Ovaskainen // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. Vol. 117. № 49. P. 31249–31258. DOI: 10.1073/PNAS.2002713117
35. Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales / A. V. Khoroshev, K. N. Dyakonov, eds. Landscape Series 26. Cam: Springer Nature, 2020. 439 p. DOI: 10.1007/978-3-030-31185-8
36. Menzel A., Sparks T. Temperature and plant development: phenology and seasonality // Plant Growth and Climate Change / M. Morecroft, J. Morison, eds. Oxford, 2007. P. 70–95. DOI:10.1002/9780470988695.ch4
37. Phenological responses of temperate and boreal trees to warming depend on ambient spring temperatures, leaf habit, and geographic range / R. A. Montgomery, K. E. Rice, A. Stefanski, R. L. Rich, P. B. Reich // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. Vol. 117. № 19. P. 10397–10405. DOI: 10.1073/pnas.1917508117
38. Tansey C. J., Hadfield J. D., Phillimore A. B. Estimating the ability of plants to plastically track temperature-mediated shifts in the spring phenological optimum // Global Change Biology. 2017. Vol. 23. № 8. P. 3321–3334. DOI: 10.1111/gcb.13624

REFERENCES

1. Belova T. A., Babkina L. A. [Changes in the Content of Chlorophylls and Carotenoids in the Leaves of Woody Plants in Central Russia]. In: *Auditoriya* [Auditorium], 2017, no. 2, pp. 34–38.
2. Beruchashvili N. L. *Chetyre izmereniya landshafta* [Four Dimensions of the Landscape]. Moscow, Mysl Publ., 1986. 180 p.
3. Vetchinnikova L. V. *Bereza: voprosy izmenchivosti (morfofiziologicheskiye i biokhimicheskiye aspekty)* [Birch: Issues of Variability (Morphological and Biochemical Aspects)]. Moscow, Nauka Publ., 2004. 183 p.
4. Vinogradova V. V. [Zoning of Russia Based on Natural Living Conditions of the Population, Taking into Account Extreme Climatic Events]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2021, vol. 85, no. 1, pp. 5–13. DOI: 10.31857/S2587556621010167
5. Zhmylev P. Yu., Zhmyleva A. P., Karpushina E. A., Titovets A. V. [Possible causes of changes in seasonal plant development due to global warming]. In: *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti. Biologicheskiye nauki* [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series Ecology and Life Safety. Biological Sciences], 2001, no. 9, pp. 98–103.
6. Voskova A. V., Gordeeva Z. I., Minin A. A. [Changes in the duration of vegetation of silver birch on the East European Plain over the past decades]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2007, no. 3, pp. 59–61.

7. Vysotskaya A. A., Medvedkov A. A. [Information resources for assessing the ecological potential of geosystems (using the Yenisei North as an example)]. In: *InterKarto. InterGIS* [Inter-Carto. InterGIS], 2023, vol. 29, part 1, pp. 20–33. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-20-33
8. Drozdov S. N., Kholoptseva E. S., Sazonova T. A. xLight and temperature characteristics of seedlings of downy birch *Betula pubescens* (Betulaceae). In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of higher educational works. Forestry magazine], 2014, no. 1, pp. 27–36.
9. Elagin I. N. *Sezonnoye razvitiye sosnovykh lesov* [Seasonal development of pine forests]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1976. 230 p.
10. Ermakov V. I. *Mekhanizmy adaptatsii berezy k usloviyam Severa* [Mechanisms of birch adaptation to Northern conditions]. Leningrad, Nauka Publ., 1986. 144 p.
11. Zaitsev G. N. *Matematika v eksperimentalnoy botanike* [Mathematics in experimental botany]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 296 p.
12. Zanuzdaeva N. V., Karimova M. E. [The influence of climate change on phenomenological phenomena in the Lapland State Nature Reserve (Murmansk Region)]. In: Krivovichev S. V., ed. *Trudy Kolskogo nauchnogo tsentra RAN* [Transactions of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences], 2021, no. 6, pp. 169–174.
13. Ivanova Yu. R., Skok N. V. [Influence of climatic parameters on the lifespan of birch foliage in Yekaterinburg in 2013–2015]. In: Yantser O. V. et al., eds. *Sovremennoye sostoyaniye fenologii i perspektivy yeye razvitiya. T. 1* [Current state of phenology and prospects for its development. Vol. 1]. Yekaterinburg, Ural State Pedagogical University Publ., 2015, pp. 88–98.
14. Isachenko A. G. *Teoriya i metodologiya geograficheskoy nauki* [Theory and methodology of geographical science]. Moscow, Akademiya Publ., 2004. 400 p.
15. Isachenko G. A. [Concepts of long-term landscape dynamics and challenges of the times]. In: *Voprosy geografii: sb. 138. Gorizonty landshaftovedeniya* [Questions of geography: collection 138. Landscape science horizons]. Moscow, Codex Publ., 2014, pp. 215–232.
16. Isachenko A. G. *Landshafty SSSR* [Landscapes of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 320 p.
17. Gurevskiykh O. Yu., Ivanova Yu. R., Skok N. V., Yurovskikh A. M., Yantser O. V. [Study of seasonal dynamics of Ural landscapes in the paradigm of the functional-dynamic approach: history and modernity]. In: *Geograficheskii vestnik* [Geographical Bulletin], 2021, no. 1, pp. 16–30.
18. Letukhova V. Yu., Zuev A. V., Potapenko I. L. Influence of climatic factors on the duration of flowering of species in the Karadag Nature Reserve. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16: Biologiya* [Bulletin of Moscow University. Series 16: Biology], 2022, no. 77, pp. 258–265. DOI: 10.55959/MSU0137-0952-16-2022-77-4-258-265
19. Mamai I. I. *Dinamika landshaftov: metodika izucheniya* [Dynamics of landscapes: study methods]. Moscow, Moscow State University Publ., 1992. 166 p.
20. Vladimirov D. R., Gladilin A. A., Gnedenko A. E., Glukhov A. I., Grudinskaya V. A., Zdravchev N. S., Lebedev P. A., et al. *Metodika vedeniya fenologicheskikh nablyudeniy* [Methodology for conducting phenological observations]. St. Petersburg, RGO Publ., 2023. 208 p.
21. *Sezonnaya zhizn' prirody Russkikh ogranicheniy. Dnevniki prirody za 1962–1966 gg.* [Seasonal life of nature on the Russian Plain. Nature diaries for 1962–1966]. Leningrad, Nauka Publ., 1970. 316 p.
22. Skok N. V. [Relationship between autumn phenophases of birch and climatic indicators of the environment]. In: *Sovremennyye issledovaniya klimata i sotsial'no-ekonomicheskikh sistem. Innovatsionnyye protsessy i problemy razvitiya yestestvennonauchnogo obrazovaniya. T. 1* [Modern studies of natural and socio-economic systems. Innovative processes and problems of development of natural science education. Vol. 1]. Ekaterinburg, UrGPU Publ., 2014, pp. 171–180.

23. Soloviev A. N. [Climatogenic phenological trends and biodiversity dynamics]. In: *Izmeneniye klimata i bioraznoobrazovaniye Rossii: postanovka problemy* [Climate change and biodiversity of Russia: statement of the problem]. Moscow, Akropol Publ., 2007, pp. 23–56.
24. Soloviev A. N. *Biota i klimat v XX stoletii* [Biota and climate in the 20th century]. Moscow, Pasva Publ., 2005. 286 p.
25. Sochava V. B. *Vvedeniye v obucheniye o geosistemakh* [Introduction to the doctrine of geo-systems]. Novosibirsk, Nauka Publ., Siberian branch, 1978. 319 p.
26. Titkova T. B., Zolotokrylin A. N. [Climate of zonal landscapes of the Russian plains under modern global warming in summer]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series], 2023, vol. 87, no. 3, pp. 391–402. DOI: 10.31857/S2587556623030111
27. Feklistov P. A., Amosova I. B. *Morfologo-fiziologicheskiye i ekologicheskiye osobennosti berezy povisloy (Betula pendula Roth.) v tayezhnoy zone* [Morphological, physiological and ecological features of silver birch (*Betula pendula Roth.*) in the taiga zone]. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov Publ., 2013. 214 p.
28. Minin A. A., Rankova F. Ya., Buyvolov Yu. A., Sapelnikova I. I., Filatova T. D. *Fenologicheskiye tendentsii v prirode tsentralnoy chasti Rossiyskoy Federatsii v usloviyakh sovremennogo potepleniya* [Phenological trends in the nature of the central part of the Russian Plain under conditions of modern warming]. In: [Life of the Earth], 2018, vol. 40, no. 2, pp. 162–174.
29. Minin A. A., Rankova E. Ya., Rybina E. G., Buyvolov Yu. A., Sapelnikova I. I., Filatova T. D. [Phenoinidication of climate change for the period 1976–2015 in the central part of European Russia: silver birch – *Betula verrucosa Ehrh. (B. Pendula Roth.)*]. In: *Problemy ekologii i modelirovaniya ekosistem* [Problems of environmental monitoring and modeling of ecosystems], 2016, vol. 27, no. 2, pp. 17–28. DOI: 10.21513/0207-2564-2016-2-17-28.
30. Gurevsky O. Yu., Kapustin V. G., Skok N. V., Yantser O. V. *Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye i landshafty Sverdlovskoy oblasti* [Physical-geographical zoning and landscapes of the Sverdlovsk region]. Yekaterinburg: UGPU Publ., 2016. 280 p.
31. Filonov K. P., Nukhimovskaya Yu. D. *Letopis prirody v zapovednikakh SSSR* [Chronicle of nature in the reserves of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 160 p.
32. Shirokova N. P., Ryabova M. S. [The relationship between phenology and biology of some species of woody plants in central Russia]. In: *Molodoy uchonyy* [Young scientist], 2014, no. 21.1, pp. 260–263.
33. Ovaskainen O., ed. *Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology*. In: *Scientific Data*, 2020, vol. 7, pp. 1–12. DOI: 10.1038/s41597-020-0376-z
34. Delgado M., Roslin T., Tikhonov G., Ovaskainen O. Differences in spatial versus temporal reaction norms for spring and autumn phenological events. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, vol. 117, no. 49. P. 31249–31258. DOI: 10.1073/PNAS.2002713117
35. Khoroshev A. V., Dyakonov K. N., eds. *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*. In: *Landscape Series* 26. Cam, Springer Nature, 2020. 439 p. DOI: 10.1007/978-3-030-31185-8
36. Menzel A., Sparks T. Temperature and plant development: phenology and seasonality. In: Morecroft M., Morison J., eds. *Plant Growth and Climate Change*. Oxford, 2007, pp. 70–95. DOI:10.1002/9780470988695.ch4
37. Montgomery R. A., Rice K. E., Stefanski A., Rich R. L., Reich P. B. Phenological responses of temperate and boreal trees to warming depend on ambient spring temperatures, leaf habit, and geographic range. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, vol. 117, no. 19, pp. 10397–10405. DOI: 10.1073/pnas.1917508117

38. Tansey C. J., Hadfield J. D., Phillimore A. B. Estimating the ability of plants to plastically track temperature-mediated shifts in the spring phenological optimum. In: *Global Change Biology*, 2017, vol. 23, no. 8, pp. 3321–3334. DOI: 10.1111/gcb.13624

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Янцер Оксана Васильевна – кандидат географических наук, доцент кафедры географии, методики географического образования и туризма, директор Института естествознания, физической культуры и туризма Уральского государственного педагогического университета;

e-mail: ksenia_yantser@bk.ru

Иванова Юлия Руслановна – ассистент департамента наук о Земле и космосе Института естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина;

e-mail: miss.nocentra@list.ru

Минин Александр Андреевич – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела оценки загрязнения окружающей среды Института глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля, старший научный сотрудник лаборатории постнатального онтогенеза Института биологии развития имени Н. К. Кольцова РАН;

e-mail: aminin1959@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oksana V. Yantser – PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Geography, Methods of Geographical Education and Tourism, Head of Institute of Natural Sciences, Physical Culture and Tourism, Ural State Pedagogical University;

e-mail: ksenia_yantser@bk.ru

Yu. R. Ivanova – Assist., Department of Earth and Space Science, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin;

e-mail: miss.nocentra@list.ru

Aleksandr A. Minin – Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher at Environmental Pollution Assessment Department of the Academician Y. A. Israel Institute of Global Climate and Ecology, Senior Researcher at Laboratory of Postnatal Ontogenesis of the N. K. Koltsov Institute of Developmental Biology RAS;

e-mail: aminin1959@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Янцер О. В., Иванова Ю. Р., Минин А. А. Пространственно-временные особенности вегетации берёзы на территории Российской Федерации за период с 1948 по 2016 гг. // Географическая среда и живые системы. 2024. № 4. С. 48–66.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-4-48-66

FOR CITATION

Yantser O. V., Ivanova Yu. R., Minin A. A. Spatial and temporal features of birch vegetation on the territory of the Russian Federation in the period 1948–2016. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 4, pp. 48–66.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-4-48-66