

О.В. Серебряков, Н.Л. Прохорова, Н.Н. Харченко

**ОТКЛИК БИОТЫ НА ИЗМЕНЕНИЯ
КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ПРИМЕРЕ ФЕНОРИТМОВ БЕРЕЗЫ (*BETULA L.*),
ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ЛЕСНЫХ МАССИВАХ
ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

Введение. В настоящее время изучение влияния климата на лесную региональную систему Воронежской области имеет прикладной характер. Особую актуальность приобретает изучение адаптивных реакций растений на температурные показатели. В данном случае температура может выступать определяющим индикатором воздействия на растительность. Исследование проводится с опорой на материалы многолетних фенологических наблюдений в регионе.

Целью нашей работы является анализ тенденций смещения сроков наступления вегетативных фенологических явлений в сопоставлении с характером климатических изменений на примере показателей температуры воздуха и атмосферных осадков. Для достижения поставленной цели выполняли статистический анализ фенологических фаз и явлений березы в период с 1961 по 2019 гг., разделенный на два основных базовых климатических периода, на территории Воронежского биосферного заповедника, проводили фенологические наблюдения для сбора данных фенологических фаз березы на территории Пригородного Правобережного лесничества Воронежской области с 2019 по 2024 гг., анализировали климатические изменения по данным метеостанции Росгидромета 34123-Воронеж с 1961 по 2024 гг.

Объект исследования – популяция берёз (*Betula L.*) Воронежской области.

Предмет исследования – фенологические фазы и явления березы (*Betula*) и сопряжение ее фенологических ритмов с климатическими показателями.

Большинство зарубежных и российских ученых считают, что в настоящее время фиксируется смещение сроков фенологических дат; календарные даты сезонных явлений сдвигаются. Замечено, что происходит незначи-

тельное смещение суммы эффективных температур [Шумик, 2008]. Исследования, проводимые в Центральной Европе на юге Германии, демонстрируют деградацию березняков под воздействием изменения климата. Ученые считают, что березы уязвимы к воздействию климатических изменений, так как этот вид чувствителен к повышению температуры и понижению количества осадков [Hájková et al., 2020; Rojo et al., 2021].

В своей работе А.В. Кузнецов [2015] зафиксировал, что происходит изменение суммы эффективных температур. При повышении температуры в весенний период можно наблюдать раннюю весну в регионе.

Пространственная структура фенологических изменений в данный момент изучена недостаточно, хотя неопровержимо доказано влияние изменения климата на фенологические фазы различных видов растений. Используя обширную базу данных фенологических наблюдений по многим таксономическим группам, имеющую высокое пространственное разрешение и охватывающую длительный временной период, выявили, что сроки и длительность фенологических фаз зависят от географической широты и климата местности [Фомин, Фомина, 2023].

В работах И.И. Сапельниковой установлены количественные показатели зависимости начала зеленения и цветения древесно-кустарниковых видов от хода гидротермического режима первой половины года для Воронежского биосферного заповедника. Сопряжение климатических показателей с феноданными имеет прикладной характер в исследованиях влияния климатических воздействий на лесную региональную систему Воронежской области [Сапельникова, 2022].

На данный момент березняки региона начинают усыхать. Многие лесопатологи бьют тревогу по поводу санитарного состояния древесных насаждений. Отмечается, что это может быть связано с увеличением длительного периода засухи. Еще одной версией выступает снижение уровня грунтовых вод, что в последующем приводит к гибели берез. Данные факторы объясняют важность подобных исследований для повышения эффективности управления лесного хозяйства Воронежской области для изучения механизмов адаптации и митигации древостоев.

Важно отметить, что при изучении рода Береза, фенологические реакции видов могут быть близки. Береза повислая и береза пушистая имеют схожие показатели, что позволяет обобщать данные по этим видам, используя родовое название [Елагин, Лобанов, 1976; Воскова и др., 2007].

Материалы и методика исследования. Данные по климатическим показателям были отобраны из официальных источников Всероссийского

научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. Для анализа массива метеорологических данных используется усреднение данных по двум базовым климатическим периодам. Для удобства анализа температура атмосферного воздуха анализировалась помесечно. Также годовые температурные показатели были поделены на два периода – теплый и холодный. Для анализа были отображены данные метеостанции Росгидромета 34123-Воронеж.

Для исследования были выбраны следующие фенологические ритмы березы: начало распускания листьев, начало цветения, окончание цветения, начало листопада, окончание листопада.

В ходе работ использовалась методика наблюдения для установления сроков и регистрации феноданных [Соловьев, 2005]. Для усреднения фенологических данных по двум базовым климатическим периодам с 1961 по 1990 гг. и с 1991 по 2020 гг. использовались классические статистические методы. Все данные представлены в виде непрерывного ряда [Зайцев, 1981].

Полевые работы проводились на территории квартала 34 Пригородного Правобережного лесничества Воронежской области, который находится в сторону севера от регионального центра. В ходе исследования на территории были отобраны 60 модельных деревьев березы пушистой в возрасте 50–60 лет, по которым производили фиксацию наступления фенологических фаз и явлений. Для исследования отбирали здоровые, взрослые деревья, визуально схожие между собой. При массовом наступлении фазы у 10% модельных деревьев фиксировали наступление фазы.

Для изучения фазы начала сокодвижения с 1991 по 2018 гг. использовали массив данных кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Остальные фенологические фазы и явления березы пушистой анализировали при помощи массива фенологических данных с 1961 по 2020 гг. Воронежского биосферного заповедника им. В.М. Пескова.

Результаты исследования и обсуждение. Климатические показатели Воронежской области за два базовых климатических периода несколько отличаются. Происходит изменение в среднемесячных температурных показателях, которые в последующем влияют на среднегодовые температуры.

Стоит отметить, что для большинства фенологических фаз и явлений березы особое влияние имеют температурные показатели. При переходе температур через 3 °С фиксируется начало вегетационного периода.

На рис. 1 представлена сводная диаграмма температурных показателей по месяцам года. Изменения фиксируются за весь годовой период. Зима стано-

вится теплой, о чем говорит перепад температур в январе и феврале. Отдельно стоит обратить внимание на температурные показатели марта. Зафиксировано отклонение с перепадами в 2,1 °С: в период 1961–1990 среднемесячные температуры марта составили –2,3 °С, а в 1991–2020 – –0,2 °С.

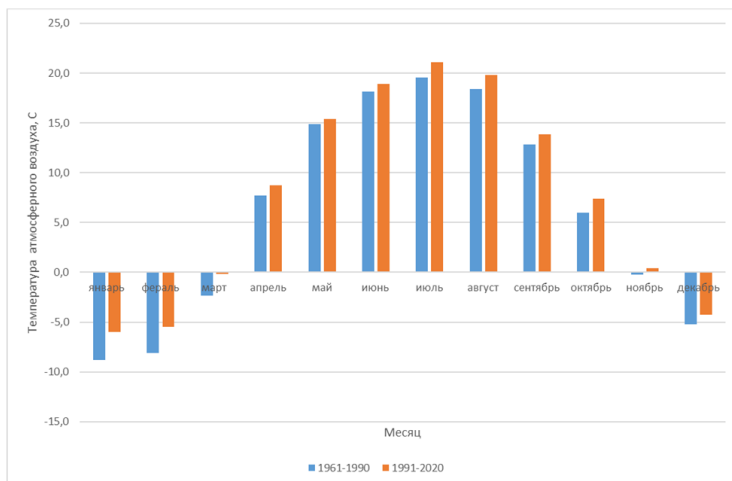


Рис. 1. Тенденция изменений среднемесячных температур за два базовых климатических периода по данным метеостанции 34123-Воронеж

Fig. 1. Trends in average monthly temperatures over two basic climatic periods according to the data of the meteorological station 34123-Voronezh

Самое большое отклонение фиксируется в июле – от +19,6 °С до +21,1 °С. Подобные изменения влияют на повышение прогрева почвы, что может привести к изменению гидротермических характеристик территории.

В осеннем периоде отмечено увеличение количества тёплых дней, которые напрямую влияют на фазу окончания листопада у берез. Из-за сохранения теплого и бездождливого периода листья могут задерживаться на ветвях растений. В сентябре отклонение составило свыше 1 °С. С каждым годом сентябрь становится все более схож с летними месяцами. Важно отметить, что на процесс вегетации влияет фотопериодизм, который подает сигнал растениям переходить к стадии завершения биоактивности.

Так как большинство основных индикаторных фенологических рядов березы выпадает на весенний период, нами была изучена степень отклонения температур по всем весенний месяцам.

В табл. 1 представлены данные по температурным отклонениям в месяцах, на которые приходится начало фенологических явлений. Наибольшее отклонение фиксируется в марте – 2,2 °С. В осенний период, в октябре оно составило 1,5 °С, что свидетельствует об увеличении количества теплых дней. В целом все температурные месячные показатели отражают повышение в 1 °С, что говорит о достаточно быстрых темпах глобального потепления в регионе. Подобные температурные изменения напрямую влияют на феноритмы березы пушистой в регионе.

Таблица 1

Степень отклонения усредненных температур по двум базовым климатическим периодам
The degree of deviation of the average temperatures over the two basic climatic periods

Год /месяц	Март	Апрель	Май	Сентябрь	Октябрь
1961–1990	-2,3	7,6	14,9	12,8	5,9
1991–2020	-0,1	8,7	15,4	13,9	7,4
Отклонение	2,2	1,1	0,5	1,1	1,5

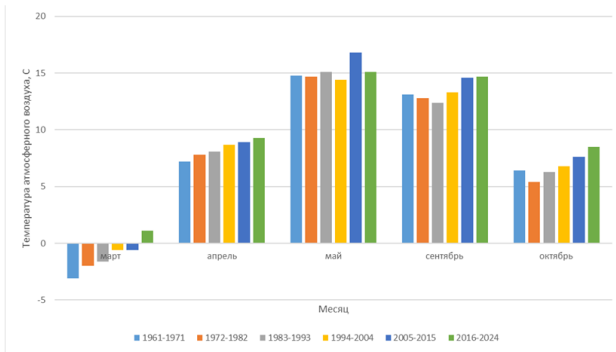


Рис. 2. Изменение среднемесячных температур атмосферного воздуха по десятилетиям в месяцы, на которые выпадают сроки начала и окончания вегетации берез

Fig. 2. Change in average monthly atmospheric air temperatures over decades in months, that mark dates of the beginning and end of the birch vegetation

Анализируя диаграмму на рис. 2, можно сделать следующие выводы. За исследуемый период средние температуры марта стремительно изменяются в положительную сторону – с -3,1 °С до +1,1 °С. Подобные скачки

привели к переходу марта из холодного в теплый месяц. Апрель вслед за мартом неуклонно наращивает температурные показатели, становясь с каждым годом теплее. Май оказался наиболее постоянным, сохраняя температуру в пределах нормы. В осенний период происходит постоянное повышение среднемесячных температур.

В ходе исследования динамики отклика биоты на примере березы пушистой были замечены следующие особенности. На территории региона с каждым десятилетием весенний период начинается раньше. Повышение среднемесячных температур марта побуждает древесные насаждения к более раннему началу вегетации.

Динамику изменения фазы начала сокодвижения проследить не удалось, так как собрано недостаточное количество данных. По этой причине отсутствует информация за первый базовый климатический период. По данным 1991–2020 гг. фаза начала сокодвижения отклоняется с конца марта на середину-начало марта. Это объясняется повышением среднемесячной температуры в марте и увеличением дней перехода через 0 °С.

Появление листьев по статистике начинается в среднем на 3 дня раньше обычного, что свидетельствует о влиянии температур на биологические ритмы древесных насаждений (рис. 3).

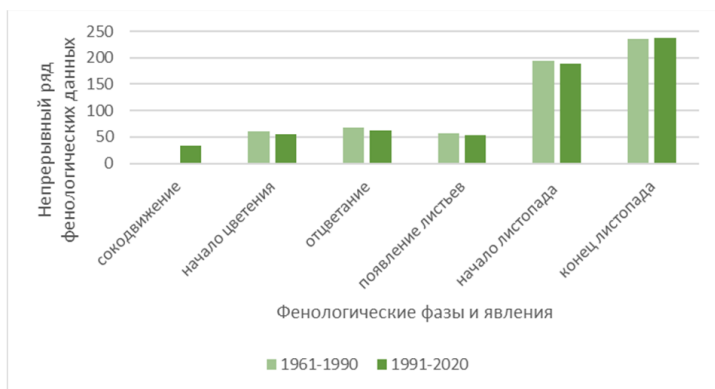


Рис. 3. Динамика изменений наступления фенофаз и явлений за два климатических периода на территории Воронежской области

Fig. 3. Dynamics of changes in the onset of phenophases and phenomena over two climatic periods in the Voronezh Region

В табл. 2 представлено сопряжение фенологических фаз с температурными показателями и атмосферными осадками. По всем показателям про-

исходят отклонения, которые отражают степень влияния глобального потепления на лесную систему региона. Среднегодовая температура теплого периода отклонилась на 1,2 °С, среднегодовая температура холодного периода – на 1,8 °С.

Таблица 2

Сопряжение наступления фенологических фаз и явлений березы пушистой с климатическими показателями в Воронежской области

Correlation of phenological phases and phenomena of the downy birch with climatic indicators in the Voronezh region

	1961–1990			1991–2020		
	непрерывный ряд [Зайцев, 1981]	календарная дата	Доверительный интервал непрерывного ряда	непрерывный ряд [Зайцев, 1981]	календарная дата	Доверительный интервал непрерывного ряда
начало цветения	60±7	29.04	56...63	56±5	25.04	54...58
отцветание	68±7	7.05	65...71	62±5	1.05	60...64
появление листьев	57±8	26.04	53...61	54±5	23.04	52...56
начало листопада	194±7	10.09	191...197	189±8	5.09	185...193
конец листопада	235±6	21.09	232...238	238±6	24.10	235...241
Климатические показатели						
Среднегодовая температура теплого периода (°С)	+13,9			+15,1		
Среднегодовая температура холодного периода (°С)	–4,9			–3,1		
Кол-во атмосферных осадков в теплый период (мм)	375			361		
Кол-во атмосферных осадков в холодный период (мм)	103			91		

Примечание: N±σ – среднее значение ряда и его стандартное отклонение. Доверительный интервал посчитан с точностью 99,9%. Доверительный интервал отображает истинные средние значения ряда данных [Тишин, Чижикова, 2022]. Непрерывный ряд основан на [Зайцев, 1981].

В сравнении двух базовых периодов в зимний период потепление идет гораздо интенсивнее, чем в летний. При этом в оба периода фиксируется уменьшение количества атмосферных осадков. Подобные изменения вли-

яют на гидротермический режим региона, вследствие чего лето становится сухим и жарким, а зима – теплой и бесснежной.

Бесснежность в зимний период несет серьезные последствия для лесных экосистем в целом. У большинства рек региона снеговое питание. Из-за постоянного снижения запасов снежного покрова в зимний период происходит дефицит водооборота у рек. В последующем это влияет на лесные экосистемы, так как большинство массивов расположены по берегам региональных рек. Подобные изменения могут привести к нарушению вегетационных процессов лесной растительности.

Отдельно рассмотрены средние температурные показатели весеннего периода. Изменение составило 1,3 °C выше нормы, что объясняет раннее начало сокодвижения и распускания листьев. Температуры осеннего периода отклонились на 1 °C, что привело к увеличению более теплого осеннего периода на территории региона.

В целом изучение отклика биоты на примере фенофаз и явлений березы пушистой показывает положительный результат в сопряжении с температурными показателями.

В ходе проведенного исследования была замечена тенденция зависимости наступления фенологических ритмов от температурных показателей. В Воронежской области данный вид научно-исследовательской работы проводится на особо охраняемых территориях. Работы для Воронежского биосферного заповедника подтверждают наши результаты. В ходе изучения летописи природы ученые пришли к выводу, что наступление фенологических явлений напрямую зависит от температурных показателей. Особо сильную зависимость можно увидеть в весенних явлениях, когда сумма эффективных температур не настолько велика. Аномально теплая весна способствует ускорению метаболизма древесных насаждений, что подтверждает наш результат. При более ранних сроках начала вегетации наблюдается более ранняя стадия пожелтения листьев в осенний период [Сапельникова, 2022]. Отмечается, что 2020 г. стал самым теплым за столетие. Появление листьев и цветение древесных пород на территории заповедника регистрировались раньше обычного. Анализ фенологических ритмов по двум базовым периодам демонстрирует смещение наступления примерно на 5 дней раньше обычного.

В Хоперском заповеднике была зафиксирована тенденция смещения вегетационных процессов у древесных растений. Ускорение сроков наступления распускания листьев у берез связано не только с повышением температуры атмосферного воздуха, но и со скоростью стаивания снежного покрова

[Короткова, 2021]. Особое внимание уделяется 2020 г., когда зимний период оказался бесснежным. Вся растительность заповедника сместила наступление фенофаз на более ранние сроки. Анализ изменения температурных показателей в период с 1939 по 2020 гг. отражает повышение среднемесячных температурных значений. В 2020 г. отмечен сильный температурный скачок в феврале, марте и апреле. Исследование по двум базовым климатическим периодам подтверждает повышение температуры воздуха в холодный и теплый период на территории Воронежской области. Отмечается, что повышение температуры воздуха в 2020 г. повлияло на более ранние сроки начала цветения и распускания листьев многих древесных пород Хоперского заповедника. Вторым базовым климатический период считается самым теплым. Смещение сроков березы пушистой фиксируется повсеместно на территории Воронежской области. Таким образом, динамика изменения климатических факторов на примере феноритмов березы в лесных массивах Воронежской области демонстрирует отклик в изменении сроков наступления фенологических фаз и явлений для растений.

Данные исследований в регионе подтверждают высокую зависимость фенологической ритмики от метеорологических факторов.

Заключение. В ходе исследования были проанализированы климатические изменения на территории Воронежской области. Проведен анализ связи ритмики фенофаз березы пушистой с атмосферным воздухом. Проведен сбор фенологических данных на территории Правобережного лесничества.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. В сравнении двух базовых климатических периодов происходит изменение температурного режима на территории региона. В целом среднегодовая температура атмосферного воздуха повысилась примерно на 1,5 °С, в теплый период – на 1,2 °С, в холодный период – на 1,8 °С. Подобный скачок связан с резким потеплением марта и ноября, которые ранее редко переходили через 0 °С по среднемесячным значениям. На данный момент с 2019 по 2024 гг. среднемесячная температура ноября стабильно превышает 0 °С. Март в последнее десятилетие показывает рекордно теплые значения. Данные изменения напрямую влияют на биологические ритмы лесных массивов Воронежской области;

2. Прямая зависимость распускания листьев и зацветания связана с изменением температурных показателей. Повышение температуры в весенний период способствовало ускорению биологических ритмов берез на территории региона. Начало и окончание листопада показывают слабую сопряженность с температурными показателями;

3. Снижение количества осадков увеличивает шансы раннего пробуждения растений. Повышенная температура в феврале и марте не дает снежному покрову задерживаться на поверхности земли;

4. Отклик березовых древостоев продемонстрировал сильную зависимость фенологических фаз и явлений от изменения климатических показателей на примере температуры атмосферного воздуха. Изменения атмосферного воздуха могут оказывать негативные воздействия на лесные экосистемы региона;

5. Данная работа имеет теоретическое и практическое значение для понимания происходящих в природе процессов. Для повышения эффективности управления лесами, особенно при формировании ассортимента состава древесных насаждений, необходимо в дальнейшем изучать воздействие климата на биологические особенности древостоев. Смещение фенологических ритмов может рассматриваться в качестве биоиндикатора изменения климата на Земле.

Благодарности. За предоставленный массив данных по фенологическим наблюдениям авторы благодарят Воронежский биосферный заповедник им. В.М. Пескова и отдельно научного сотрудника Инну Игоревну Сапельникову.

За помощь в анализе климатических данных и вовлеченность в работу с аспирантом О.В. Серебряковым авторы благодарят ведущего научного сотрудника Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова Елену Марковну Акентьеву.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Воскова А.В., Гордеева З.И., Минин А.А. Изменение продолжительности вегетации у березы бородавчатой на Восточно-Европейской равнине за последние десятилетия // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2007. № 3. С. 59–61.

Елагин И.П., Лобанов А.И. Атлас-определитель фенологических фаз растений. М.: Наука, 1976. 96 с.

Зайцев Г.Н. Фенология древесных растений. М.: Наука, 1981. 120 с.

Короткова О.Е. Погодно-климатические, фенологические отклонения 2020 г. в Хоперском заповеднике в сравнении с многолетними данными 1939–2020 гг. // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. 2021. №28. С. 199–207.

Кузнецов А.В. Распускание листвы у фенологических форм дуба черешчатого в Теллермановской дубраве // Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем: мат. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. памяти профессора А.И. Золотухина. Саратов, 2015. С. 131–134.

Сапельникова И.И. Летопись природы: Растительность и ее изменения. Сезонное развитие растений Воронежского заповедника // Научные исследования в заповедниках и национальных парках Российской Федерации (2015–2021 гг.). Симферополь, 2022. Вып. 5. С. 127–128.

Соловьев А.Н. Биота и климат. Региональная фенология. М.: Пасьева, 2005. 288 с.

Тишин Д.В., Чижикова Н.А. Фенология (методика наблюдений). Казань: Казанский федеральный университет, 2022. 36 с.

Фомин Э.С., Фомина Т.И. Фенологические реакции многолетних растений на изменение климата в Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2023. Т. 30, № 6. С. 760–772. DOI: 10.15372/SEJ20230603.

Шумик Н.И. Научные принципы создания биологически устойчивых зеленых насаждений в современном урбандошафте // Декоративное садоводство России: сб. мат. Всерос. науч.-практ. конф. Сочи, 2008. С. 360–366.

Hájková L., Kožnarová V., Možný M., Bartošová L. Influence of climate change on flowering season of birch in the Czech Republic // International Journal of Biometeorology. 2020. Vol. 64. P. 791–801. DOI: 10.1007/s00484-020-01869-1.

Rojo J., Oteros J., Picornell A., Maya-Manzano J.M., Damialis A., Zink K., Werchan M., Werchan B., Smith M., Menzel A., Timpf S., Traidl-Hoffmann C., Bergmann K.-C., Schmidt-Weber C.B., Buters J. Effects of future climate change on birch abundance and their pollen load // Global change biology. 2021. Vol. 27. P. 5934–5949. DOI: 10.1111/gcb.15824.

References

Elagin I.P., Lobanov A.I. Atlas-identifier of plant phenological phases. Moscow: Nauka, 1976. 96 p. (In Russ.)

Fomin E.S., Fomina T.I. Phenological Responses of Perennial Plants to Climate Change in Western Siberia. *Siberian Environmental Journal*, 2023, vol. 30, no. 6, pp. 760–772. DOI: 10.15372/SEJ20230603. (In Russ.)

Hájková L., Kožnarová V., Možný M., Bartošová L. Influence of climate change on flowering season of birch in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology*, 2020, vol. 64, pp. 791–801. DOI: 10.1007/s00484-020-01869-1.

Korotkova O.E. Weather-climatic and phenological deviations of 2020 in Khopersky Reserve compared to long-term data from 1939–2020. *Proceedings of the Morovsky State Nature Reserve named after P.G. Smidovich*, 2021, no. 28, pp. 199–207. (In Russ.)

Kuznetsov A.V. Leaf unfolding in phenological forms of pedunculate oak in Tellermano oak grove. *Biodiversity and anthropogenic transformation of natural ecosystems: mat. of All-Russ. sci.-pract. conf. dedic. to memory of professor A.I. Zolotukhin*. Saratov, 2015, pp. 131–134. (In Russ.)

Rojo J., Oteros J., Picornell A., Maya-Manzano J.M., Damialis A., Zink K., Werchan M., Werchan B., Smith M., Menzel A., Timpf S., Traidl-Hoffmann C., Bergmann K.-C., Schmidt-Weber C.B., Buters J. Effects of future climate change on

birch abundance and their pollen load. *Global change biology*, 2021, vol. 27, pp. 5934–5949. DOI: 10.1111/gcb.15824.

Sapelnikova I.I. Natural Chronicle: Vegetation and its Changes. Seasonal Development of Plants at Voronezh Reserve. *Scientific Research in Reserves and National Parks of Russia (2015–2021)*. Simferopol, 2022, iss. 5, pp. 127–128. (In Russ.)

Solovyov A.N. Biota and Climate. Regional Phenology. Moscow: Pasva, 2005. 288 p. (In Russ.)

Shumik N.I. Scientific principles for creating biologically sustainable green spaces in modern urban landscapes. *Decorative Gardening in Russia*: collection of mat. of All-Russ. sci.-pract. conf. Sochi, 2008, pp. 360–366. (In Russ.)

Tishin D.V., Chizhikova N.A. Phenology (Observation Methods). Kazan: Kazan Federal University, 2022. 36 p. (In Russ.)

Voskova A.V., Gordeeva Z.I., Mini A.A. Changes in the duration of vegetation in warty birch on the East European plain in recent decades. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Geography series*, 2007, no. 3, pp. 59–61. (In Russ.)

Zaytsev, G. N. Phenology of Woody Plants. Moscow: Nauka, 1981. 120 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 25.03.2025

Серебряков О.В., Прохорова Н.Л., Харченко Н.Н. Отклик биоты на изменения климатических факторов на примере феноритмов березы (*Betula L.*), произрастающей в лесных массивах Воронежской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 203–216. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.203-216

Исследование раскрывает степень влияния климатических воздействий на древесный вид – березу пушистую, произрастающую в Воронежской области. Температура атмосферного воздуха может выступать определяющим индикатором воздействия на растительность. Цель работы – анализ тенденций смещения сроков наступления вегетативных фенологических явлений в сопоставлении с характером климатических изменений. Объектом исследования послужила лесная региональная система Воронежской области, а предметом – береза пушистая (*Betula pubescens*) и сопряжение ее фенологических ритмов с климатическими показателями. Температура атмосферного воздуха анализировалась ежемесячно, для анализа метеорологических данных использовалось усреднение данных по двум базовым климатическим периодам. За весь период исследований зафиксировано смещение дат начала и продолжительности фенологических фаз и явлений. В сравнении двух базовых климатических периодов (с 1961 по 1990 гг. и с 1991 по 2020 гг.) происходит изменение температурного режима на территории региона. Зафиксировано наступление весенних фенологических фаз на несколько дней раньше обычного. Установлена прямая зависимость начала

сокодвижения, распускания листьев и зацветания от воздействия температуры воздуха. Отклик березовых насаждений продемонстрировал сильную взаимосвязь с температурой атмосферного воздуха. Подобные исследования полезны в подборе ассортимента лесовосстановления в реалиях изменения климата в черте региона. Смещение фенологических ритмов может рассматриваться в качестве биоиндикатора изменения климата на Земле.

Ключевые слова: лесная система, климат, фенология, сопряженность, береза, биота.

Serebryakov O.V., Prokhorova N.L., Kharchenko N.N. The response of biota to changes in climatic factors using the example of birch (*Betula L.*) phenorhythms growing in the forests of the Voronezh region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 203–216 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.203-216

The study reveals the degree of influence of climatic influences on the tree species, the fluffy birch, which grows in the Voronezh region. The temperature of the atmospheric air can act as a determining indicator of the impact on vegetation. The purpose of the work is to analyze trends in the timing of the onset of vegetative phenological phenomena in comparison with the nature of climatic changes. The object of the study was the forest regional system of the Voronezh region, and the subject was the downy birch (*Betula pubescens*) and the correlation of its phenological rhythms with climatic indicators. The temperature of the atmospheric air was analyzed on a monthly basis, and the meteorological data were averaged over two basic climatic periods. Over the entire research period, there has been a shift in the dates of the beginning and duration of phenological phases and phenomena. In comparison with two basic climate periods (from 1961 to 1990 and from 1991 to 2020), there has been a change in the temperature regime in the region. The onset of spring phenological phases has been observed several days earlier than usual. There has been a direct correlation between the onset of sap flow, leaf expansion, and flowering, and the influence of air temperature. The response of the birch plantations demonstrated a strong correlation with atmospheric air temperature. Such studies are useful in selecting the range of reforestation in the context of climate change in the region. The shift in phenological rhythms can be considered as a bioindicator of climate change on Earth.

Key words: forest system, climate, phenology, conjugacy, birch, biota.

СЕРЕБРЯКОВ Олег Владимирович – аспирант кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: o-ser00@mail.ru

SEREBRYAKOV Oleg V. – PhD student, Department of Ecology, Forest Protection and Forestry, Voronezh State University of Forestry and Technologies. 394087. Timiryazeva str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: o-ser00@mail.ru

ПРОХОРОВА Надежда Леонидовна – старший преподаватель кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова. ORCID: 0000-0001-6558-7074. Scopus AuthorID: 57213353580.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: nadnov40@yandex.ru

PROKHOROVA Nadezhda L. – Senior Lecturer, Department of Ecology, Forest Protection and Forestry, Voronezh State University of Forestry and Technologies. ORCID: 0000-0001-6558-7074. Scopus AuthorID: 57213353580.

394087. Timiryazeva str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: nadnov40@yandex.ru

ХАРЧЕНКО Николай Николаевич – заведующий кафедрой экологии, защиты леса и лесного охотоведения Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, профессор, доктор биологических наук. ORCID: 0000-0001-7645-2642. SPIN-код: 4245-3294. WoS ResearcherID: AAP-1709-2020. Scopus AuthorID: 57195760323.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: forest.vrn@gmail.com

KHARCHENKO Nikolay N. – DSc (Biological), Head of the Department of Ecology, Forest Protection and Forestry, Voronezh State University of Forestry and Technologies, Professor. ORCID: 0000-0001-7645-2642. SPIN-code: 4245-3294. WoS ResearcherID: AAP-1709-2020. Scopus AuthorID: 57195760323.

394087. Timiryazeva str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: forest.vrn@gmail.com