

ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ БИОТЫ ВОСТОКА РУССКОЙ РАВНИНЫ НА ПОГОДНЫЕ АНОМАЛИИ

А.Н. Соловьев, Т.Г. Шихова*

Всероссийский НИИ охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова
Россия, 610020, г. Киров, ул. Преображенская, 79,
* адрес для переписки: *biomon@mail.ru*

Реферат. Современная динамичность климата и неоднозначность реакции растений и животных на участвовавшие значительные отклонения метеорологических параметров определяет актуальность биофенологических исследований. На основе оригинальной базы фенологических данных по г. Кирову и Кировской области проведен сопряженный анализ фенологических сдвигов сезонной ритмики растений и животных с отклонениями метеопараметров вегетационных периодов. Установлены величины смещения сроков протекания сезонных этапов развития организмов в ответ на избыток или дефицит тепла и влаги при экстремальных погодных условиях в 2010, 2017, 2019 годы. Со смещением к более ранним значениям средней даты перехода среднесуточной температуры воздуха выше 0°C стали раньше наступать ранневесенние и весенне-летние биофенологические явления (прилет птиц, распускание листьев, зацветание растений и др.) с близкими величинами трендов за столетие. На 1°C положительной температурной аномалии весенние фенофазы у растений стали наступать в среднем на 1 сутки раньше средних дат, а осенние – на 6-8 суток позднее. Превышение суммы эффективных температур на 100°C в мае-июле вызвало опережение средних дат развития насекомых на 1.6-4.8 суток. При аномалиях температурно-влажностного режима выявлены нарушения генеративного цикла, снижение плодоношения у культурных растений и дикоросов, изменение продуктивности беспозвоночных животных и сроков миграций птиц. Для рассмотренных видов организмов естественных и культурных биоценозов погодные аномалии с экстремальными показателями температуры и влажности оказались в пределах их толерантности. Выявление региональных особенностей диапазона отклонений сроков протекания фенологических сезонов необходимо для определения отклика природных экосистем на изменения климата, а также в организации природно-хозяйственной деятельности.

Ключевые слова. Фенологическое явление, погодные аномалии, фенологические тенденции, фенологические отклонения, урожай плодов и семян.

Введение

Современное изменение климата (Груза, Ранькова, 2012; Zolina et al., 2013; Mann et al., 2017) обусловило удлинение вегетационного периода в средних широтах (Переведенцев и др., 2010; Второй оценочный доклад..., 2014) за

счет потепления осеннего и зимнего сезонов, учащение погодных аномалий (Соловьев и др., 2011; 2015; 2019). В целом за XX столетие наблюдалась общая тенденция сдвига средних дат начала активности животных и растений и наступления весенне-летних фаз их развития к более ранним значениям (Соловьев, 2005а; 2011).

Климатические изменения неоднозначно отражаются на фенологических явлениях, разных по отношению к температурному фактору растений и животных (Visser et al., 2012; Cahill et al., 2014; Сергиенко, Константинов, 2016), распространении и миграциях (Cotton, 2003; Lenoir et al., 2008; Соколов, 2010; Мусолин, Саулич, 2012; Соловьев, 2015), фенологии видов и ландшафтов (Parmesan, 2007; Thuiller et al., 2011; Phenology and climate..., 2012; Бобрецов и др., 2017; Minin et al., 2020).

На востоке ЕТР вслед за смещением за столетие на 8 дней к ранним значениям средней даты перехода среднесуточной температуры воздуха выше 0°C раньше стали наступать биофенологические явления из ранневесенней экологической группы с близкими величинами трендов за столетие. Проявляющееся в повышении преимущественно осенне-зимне-весенней температуры, в смещении к северу изотермы 0°C и соответственно изолиний высот снежного покрова, потепление активизировало процессы восстановления северных частей ареалов бореальной фауны, оттесненных к югу арктическими условиями плейстоцена и в относительно холодные эпохи голоцена. Преобладают тенденции расселения видов в север-северо-восточном направлении. В сочетании с антропогенной трансформацией ландшафтов лесной зоны и нарастающей урбанизацией северных территорий потепление активизирует структурно-пространственные перестройки фауны (Соловьев, 2005а; 2011).

Общая тенденция повышения температуры в XX столетии в умеренно-континентальных условиях южно-таежной подзоны на северо-востоке Русской равнины привела к сокращению продолжительности зимнего сезона на 15 дней и удлинению лета на 15 дней (г. Киров). В фенологии развития животных и растений особенно значительные изменения произошли в наиболее динамичные переходные сезоны – весны (отрицательный тренд) и осени (положительный тренд) с незначительной разницей в датах за столетие в пределах относительно стабильных сезонов зимы и лета (Соловьев, 2005а).

Сравнительный анализ вековых фенологических рядов по г. Кирову в сопоставлении с фенологическими показателями по другим регионам России (Бобрецов и др., 2017; Minin et al., 2020), Европы (Zolina et al., 2013; Phenology..., 2012.), Северной Америки (Cotton, 2003; Thuiller et al., 2011) свидетельствует о глобальном характере изменений сезонной динамики биоты. Синхронность трендов многолетнего смещения средних дат наступления сезонных явлений в жизни растений и животных в XX в. свидетельствует о единстве причин, обуславливающих эти сдвиги.

Потепление климата привело к смещению на 5-7 суток к более ранним датам наступления весенне-летних явлений активности биоты (прилет птиц, распускание листьев, зацветание растений и др.). Величина проявления этой общей тенденции различна в разные фенологические периоды. Например,

зеленение березы повислой *Betula pendula* Roth (период зеленой весны) за 100 лет стало наступать раньше на 7 сут, а зацветание липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. (краснолетье) – на 5 суток. Средние даты прилета птиц в г. Киров по климатическим фазам XX в. колебались от +5 до -9 суток с максимальными значениями тренда к началу XXI в. от 10 до 14 суток (Соловьев, 2015). С 2011 г. участились поздние весны, что обусловило задержку начала ранне-весенних феноявлений.

С устойчивым изменением климата возрастают риски развития погодных аномалий (Semenov, 2012; Zolina et al., 2013; Mann et al., 2017; Perevedentsev et al., 2019), которые вызывают значительные отклонения сроков протекания сезонных процессов в экосистемах и влияют на фенологию живых организмов.

В цикличность многолетней и сезонной динамики экосистем коррективы вносят участвовавшие погодно-климатические аномалии, не только задерживая или ускоряя наступление и прохождение сезонных этапов развития природы, но и вызывая нарушение генеративного цикла, повреждения и даже гибель организмов (Соловьев и др., 2011; 2015; 2019). За 130 лет фенологических наблюдений по г. Кирову (Вятке) аномально затяжные осенние сезоны (>106 сут) отмечались в последнее 30-летие – 1991, 2008, 2009, 2013 гг. Продолжительность их превышала средние показатели от +1.8 σ (1991 г.) до +2.4 σ (2008 г.) (Шихова, 2018).

В условиях вятско-верхнекамского участка южной тайги морозы в бесснежный период предзимья (ниже -20°C) и продолжительные очень низкие температуры зимнего сезона (ниже -35°C) 2009/2010 г. оказались в области пессимальных, сублетальных, а местами летальных величин для большинства теплолюбивых плодово-ягодных культур, вызвали угнетение их развития (или гибель) и плодоношения (Соловьев и др., 2011).

Затяжные зимние оттепели или летняя жара с засухой становятся одним из ведущих факторов в сокращении численности и показателей биоразнообразия животных, как в городских условиях, так и на заповедных территориях. Но, если, несмотря на катастрофическое воздействие экстремальных погодных условий, как в зимнее, так и в летнее время, популяции, например, шмелей, демонстрируют достаточную устойчивость и высокий потенциал к восстановлению, то в отношении позвоночных, как это показано на примере рептилий, влияние аномального по своим характеристикам лета может иметь долговременный характер (Обзор..., 2013).

Сопряженный анализ вековых климатических и биофенологических данных показал очевидную согласованность климатической и фенологической тенденций по датам наступления пороговых значений среднесуточных температур и фенофаз у растений и животных, а также по величине их трендов за столетие (Соловьев, 2005а; 2007).

Установлены многолетние тренды сезонных явлений и имеющие прогностическое значение корреляционные связи между отдельными явлениями. Высокий уровень корреляции некоторых отдаленных во времени, но синхронно наступающих, явлений позволяет методом фенологического лага

определять даты наступления относительно скрытых явлений (Соловьев, 2020).

В задачи исследования входило установление величин отклонений сроков протекания сезонных фаз развития организмов, урожайности растений и грибов в годы с погодными аномалиями. Анализировались результаты биофенологического мониторинга в Кировской области с целью выявления особенностей реакции растений, животных и макромицетов на значительные отклонения температурно-влажностного режима вегетационных сезонов: экстремально жаркого засушливого 2010 г. и холодных с дефицитом солнечной радиации 2017 и 2019 гг. В результате статистической обработки многолетних непрерывных рядов фенологических дат по г. Кирову выявлялись закономерности сезонной ритмики различных объектов растительного и животного мира под влиянием циклических колебаний климата.

Методы и материалы

Анализовались данные фенологического мониторинга по Кировской области, расположенной на востоке Русской равнины в трех подзонах лесной зоны – среднетаежной, южнотаежной и широколиственно-хвойных лесов. Климат умеренно континентальный (Климат..., 1982). Фенологические даты регистрировались по единой методике в соответствии с программой фенологических наблюдений в Кировской области (Соловьев, 2005б).

Средние многолетние даты и их стандартные отклонения (σ) вычисляли за новый базовый период 1981-2010 гг., который отражает современные климатические условия и рекомендован World Meteorological Organization (WMO, 2011) для оперативных аналитических оценок.

Урожайность плодов и семян оценивалась по глазомерной шкале В.Г. Каппера (1930).

Влияние погодных аномалий на жизнедеятельность растений и животных устанавливалось по характеристикам экстремально жаркого, засушливого вегетационного периода 2010 г. и холодных летних сезонов 2017 и 2019 гг. в сравнении со среднемноголетними датами.

Влияние погодных аномалий на сельскохозяйственные культуры и их вредителей выявлялось по результатам фитосанитарного мониторинга сельхозугодий в 60 км южнее областного центра в 2000-2017 гг. (Соловьев и др., 2011, 2015, 2019).

Статистическая обработка фенологических рядов проведена с применением пакетов компьютерных программ Excel 2010 и Statistica 10. Достоверность полученных результатов оценивалась на уровне $p < 0.05$.

Результаты и дискуссия

В годы с аномальными погодными условиями вегетационного периода (значительным избытком или дефицитом тепла и влаги) отмечается торможение развития растений и макромицетов. Наблюдается смещение сроков проте-

кания этапов их сезонного развития и для большинства видов – угнетение генеративных процессов (снижение плодоношения). Существенно сдвигаются сроки миграции перелетных видов птиц.

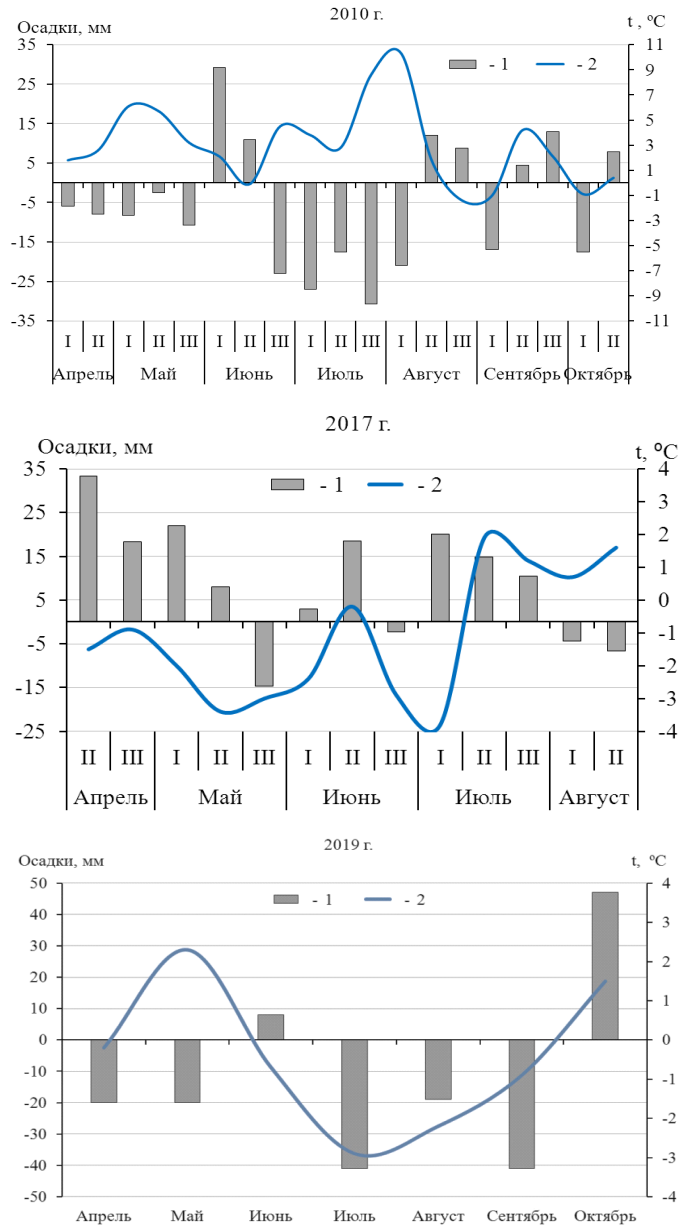


Рисунок 1. Аномалии (отклонение от нормы) температуры воздуха и количества осадков в вегетационные периоды 2010, 2017, 2019 гг. (г. Киров):
1 – количество осадков, мм; 2 – температура воздуха, °C

По температурным и влажностным параметрам аномальными были все сезоны 2010 г. – очень морозная зима (до -45°C), самая теплая за столетие весна, рекордно жаркое лето, очень теплая осень. Аномальная жара и

засуха (в течение более 50 сут) квалифицировались как крупнейшая природная катастрофа, вызванная метеорологическими причинами (Доклад..., 2011). В течение всего вегетационного сезона 2010 г. среднемесячные температуры превышали климатическую норму. В 2017 г. на территории Кировской области отрицательные температурные аномалии отмечались весной и летом: прохладный апрель, очень холодный май, аномально холодные июнь, июль. В июле было экстремально влажно (139% нормы) (Доклад..., 2018). Холодное лето 2019 г. с июня по сентябрь характеризовалось значительным дефицитом тепла и влаги (рис. 1).

Экстремальная жара и засуха в течение 50 дней летом 2010 г. вызвали феноаномалии (отклонение дат начала от средних значений) в развитии растений и животных, которые носили экспрессивный характер с опережением среднесуточных дат до 18 суток. В результате превышения среднесуточных значений среднемесячных температур воздуха шло ускоренное накопление суммы эффективных температур ($\Sigma_{эф.т}$), обусловившее прогрессирующее ускорение наступления летних фенофаз у растений, достигшее максимума (-12 ± 4.9) в июле. В апреле и мае на 1^о положительной температурной аномалии фенофазы у растений наступали в среднем на 1 сутки раньше средних дат. В августе-сентябре при положительных температурных аномалиях осенние фенофазы у растений наступали с запаздыванием на 6-8 суток.

Превышение среднемесячной температуры воздуха на 1-3^оС с преобладанием ясных солнечных дней на 11% в сентябре и на 3% в октябре обусловило задержку осенних биофеноявлений в 2010 и 2017 гг. в среднем на 3-6 суток (рис. 2).

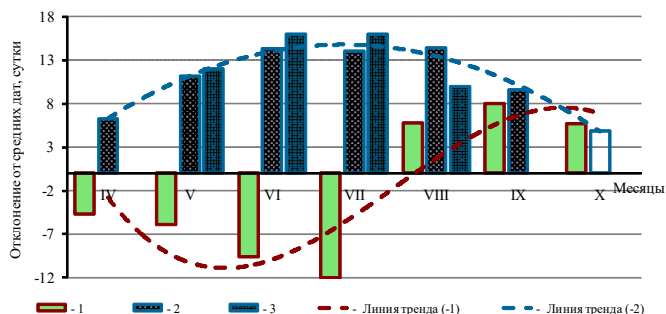


Рисунок 2. Феноаномалии в 2010 и 2017 гг.

1 – фитофеноаномалии 2010 г.; 2 – фитофеноаномалии 2017 г.; 3 – зоофеноаномалии 2017 г.

Длительное воздействие высоких температур воздуха (выше +30^оС) и дефицит атмосферного увлажнения до 92% в июле-августе 2010 г. оказались в области пессимальных значений для травостоя суходольных лугов, сельскохозяйственных культур, лесных ягодников (брусника *Vaccinium vitis-idaea* L., черника *V. myrtillus* L.) в подзоне южной тайги и особенно в подзоне хвойно-широколиственных лесов. В то же время эти погодные отклонения оказались в зоне толерантности для ягодных кустарников пойменных и крупных болотных угодий (шиповник коричный *Rosa majalis* Herrm., клюква *Oxycoccus*

palustris Pers.) и не повлияли на урожай поздноцветущих (конец мая - июль) древесных видов – липа мелколистная, рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L., черемуха обыкновенная *Padus avium* L., дуб черешчатый *Quercus robur* L.

Экстремальные погодные условия 2010 г. повлияли на продуктивность беспозвоночных животных и сроки миграций птиц. Сочетание продолжительных морозов января (ниже -35°C) и продолжительной летней жары с засухой оказались пессимальными и сублетальными для разных стадий онтогенеза колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* (Say), остроголового клопа *Aelia acuminata* (L.), озимой совки *Agrotis segetum* (Den. et Schiff.), шведской мухи *Oscinnella frit* (L.) и др. Но жаркая сухая погода способствовала раннему выходу имаго клеверного долгоносика *Apion apricans* Hbst. Превышение среднемесячной температуры воздуха на 1°C вызвало опережение средних дат: в апреле – на 1.9 суток начала фенофаз онтогенеза беспозвоночных ранневесенней фенологической группы, на 1 сутки – прилета птиц из ближних мигрантов; в мае – на 1.3 суток фенофаз развития беспозвоночных поздневесенней группы, на 1.4 суток – прилета птиц из дальних мигрантов. Превышение $\Sigma_{\text{эф.т}}$ на 100°C вызвало опережение средних дат: в мае – на 2.9-3.8 суток появления имаго (шведской мухи, колорадского жука, капустницы *Pieris brassicae* L.); в июне – на 2.7-4.8 суток выноса личинок; в июле – на 1.6-1.7 суток вылета летнего поколения имаго этих видов.

В условиях средних широт европейского востока морозы до -40°C зимой и продолжительная жара до $+40^{\circ}\text{C}$ с засухой летом находятся в пределах адаптационных возможностей региональной биоты и не вызывают необратимых последствий в живой природе (Соловьев и др., 2015).

В 2017 г. весна, лето и осень наступали значительно позднее средних дат (от $+1.1 \sigma$ до $+2.4 \sigma$), но по продолжительности были в пределах нормы. В первой половине вегетационного периода (май-июль) дефицит среднемесячной температуры воздуха на 1°C вызвал отставание в развитии растений в среднем на 5.7 суток (рис. 2).

Аномально холодная весна и лето 2017 г., медленное накопление $\Sigma_{\text{эф.т}}$ с апреля по август обусловили замедленное развитие природных процессов с задержкой от среднемноголетних дат от 5 сут в апреле до двух-трех недель в течение лета (таблица).

Позднее среднемноголетних дат в 2017 г. началось зеленение растений на 8-18 суток при отклонении $\Sigma_{\text{эф.т}}$ на $-11.9-18.5^{\circ}\text{C}$ от средних значений; зацветание – на 8-20 суток при отклонении $\Sigma_{\text{эф.т}}$ на $-11.9-397.1^{\circ}\text{C}$; плодоношение – на 9-20 суток при отклонении $\Sigma_{\text{эф.т}}$ на $-313-517.1^{\circ}\text{C}$. При недостатке $\Sigma_{\text{эф.т}}$ (до 50% нормы) не вызрели плоды теплолюбивых культур. У большинства рассмотренных видов отмечалось снижение плодоношения. Холодное и дождливое лето 2017 г. оказало негативное влияние на развитие вредителей сельскохозяйственных культур, обусловив отсутствие ряда видов: пяденицы обыкновенной *Ouleta melanopus* L., ячменного минера *Hydrellia griseola* Fallen, остроголового клопа, клопа черепашки *Eurygaster integriceps* Puton, рапсового пилильщика *Athalia rosae* L., капустной моли *Plutella xylostella* (L.) (Соловьев и др., 2019).

Таблица. Суммы эффективных температур ($\Sigma_{эф.т}$) и развитие растений в 2017 г.

| Вид | $\Sigma_{эф.т}$, °С | | Отклонение в 2017 г. от нормы | |
|----------------------------|----------------------|---------|------------------------------------|----------------------------|
| | Норма | 2017 г. | подекадной $\Sigma_{эф.т}$, °С | дат начала фенофаз, сут |
| Зеленение | | | | |
| Крыжовник | 40-86 | 42.3 | -11.9 | 8 |
| Смородина черная | 38-74 | 43.2 | | 8 |
| Черемуха обыкновенная | 50-122 | 59.5 | | 16 |
| Береза повислая | 51-84 | 71.1 | | 14 |
| Рябина обыкновенная | 50-130 | 71.1 | | 12 |
| Тополь бальзамический | 66-117 | 71.1 | | 14 |
| Липа мелколистная | 92-162 | 112.2 | -18.5 | 9 |
| Зацветание | | | | |
| Тополь бальзамический | 39-69 | 43.7 | -11.9 | 14 |
| Береза повислая | 47-81 | 59.5 | | 17 |
| Крыжовник | 70-187 | 112.2 | -18.5 | 13 |
| Смородина черная | 86-177 | 91.7 | | 10 |
| Черника | 118-139 | 122.0 | | 12 |
| Черемуха обыкновенная | 105-161 | 113.3 | | 14 |
| Рябина обыкновенная | 209-268 | 199.3 | | 15 |
| Брусника | 209-319 | 222.2 | | 11 |
| Шиповник коричный | 241-336 | 261.7 | -203.4 | 14 |
| Калина обыкновенная | 289-373 | 309.3 | | 16 |
| Малина обыкновенная | 328-397 | 356.1 | -237.7 | 13 |
| Иван-чай | 435-556 | 440.9 | -313 | 11 |
| Липа мелколистная | 669-704 | 670.3 | -397.1 | 20 |
| Первые зрелые плоды | | | | |
| Земляника лесная | 392-529 | 503.5 | -313 | 20 |
| Черника | 574-751 | 650.0 | -397.1 | 16 |
| Смородина черная | 645-758 | 660.1 | | 14 |
| Черемуха обыкновенная | 726-924 | 730.6 | -423.2 | 9 |
| Малина обыкновенная | 736-850 | 782.3 | | 15 |
| Брусника | 919-1335 | 1105.9 | -517.1 | 19 |

В течение вегетационного периода 2019 г. только май (среднемесячная температура воздуха 121% нормы) и октябрь (150%) были теплее обычного, а с июня по сентябрь отмечался дефицит тепла (от -0.7°С до -2.9°С) (Доклад..., 2020). Особенно прохладными оказались июль и август, когда среднемесячная температура воздуха составляла 85-86% нормы. По влагообеспеченности вегетационный период (апрель-сентябрь) характеризовался дефицитом (33.7%) осадков, только теплый октябрь выдался аномально дождливым – 170% нормы, что вызвало осенний паводок на реках Кировской области.

Метеоаномалии 2019 г. повлияли на сроки протекания фенологических сезонов. Фенологическая весна началась с интенсивного снеготаяния в пер-

вой декаде апреля, позднее обычного на 12 дней ($+1.3\sigma$), и была быстрой (короче на 17 дней, -1.7σ). Повышенный температурный режим мая повлиял на темпы развития растений, и зацветание шиповника коричневого (начало фенологического лета) наблюдалось уже в последних числах мая, что на 4 дня раньше обычного (-0.6σ). Продолжительность летнего сезона была в пределах среднееголетних значений. С появлением «желтых прядей» на березах в первой декаде августа раньше средней даты на восемь дней (-1.4σ) наступила осень. Из-за теплой погоды октября и ноября осенний сезон удлинился на две недели ($+15$ сут, 1.1σ) (Шихова, 2020). Переход к зимнему аспекту был размытый с периодами временного разрушения снежного покрова в ноябре и декабре.

Вегетационный период 2019 г. характеризовался в апреле, июне и июле положительными (позднее среднееголетних дат) фитофеноаномалиями, а в мае и с августа по октябрь – отрицательными (опережающими средние даты) (рис. 3). Теплый март, май и октябрь 2019 г. повлияли на существенный сдвиг сроков миграции перелетных видов птиц (весной опережение до -11 сут, а осенью задержка до 10 суток).

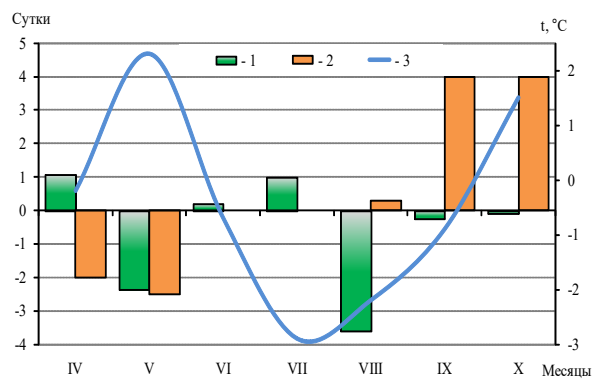


Рисунок 3. Аномалии 2019 г.

1 – фитофенологические; 2 – зоологические; 3 – температурные

Опережение среднееголетних дат развития растений в мае составило в среднем -2.5 ± 4.9 суток. Причем в первую декаду мая отмечалась задержка в среднем на 1.7 ± 2.6 суток (до 7 сут), а во вторую и третью декады – опережение в среднем на -5.6 ± 3.7 суток (до -15 сут).

Дефицит тепла в летние месяцы обусловил задержку развития растений в июне-июле и более раннее начало осенних явлений. Фитофенологические события июня проходили с небольшим отклонением от нормы (0.2 ± 3.3 сут). В первой половине июня наблюдалось опережение средних дат развития растений до 5 суток, а во второй половине – задержка развития растений до 7 суток. Холодный июль вызвал задержку на 1.0 ± 4.1 сут (до 6 суток).

В августе-сентябре при отрицательной температурной аномалии осенние фенофазы у растений наступали с опережением средних дат на -3.6 ± 5.4 сут (до -10 суток).

Теплый март и начало апреля в 2019 г. способствовали более раннему прилету грача *Corvus frugilegus* L., скворца *Sturnus vulgaris* L., чибиса *Vanellus vanellus* L., жаворонка *Alauda arvensis* L., чаек *Larus ridibundus* L., *L. canus* L. в среднем на -2 ± 3.5 суток (до -11 сут прилет чаек). Превышение среднемесячной температуры воздуха в мае сказалось на опережении средних дат прилета птиц из группы дальних мигрантов (ласточка *Hirundo rustica* L., кукушка *Cuculus canorus* L., соловей *Luscinia luscinia* L., коростель *Cyx crex* L., чечевича *Carpodacus erythrinus* Pallas и др.) в среднем на -2.6 ± 4.4 суток (до -9 сут прилет стрижа *Apus apus* L.) (рис. 3).

Теплая погода конца сентября и особенно октября способствовала задержке осенней миграции перелетных видов в среднем на 4.2 ± 4.4 сут (до 10 сут отлет гусеобразных) относительно средних дат.

Летний сезон 2019 г. был с рекордно низкой отрицательной аномалией солнечного сияния (Доклад..., 2020). Недостаток тепла и солнечной радиации (дефицит летом 40-50%) негативно отразились на урожайности дикоросов, культурных растений и грибов.

У большинства рассмотренных видов растений в 2019 гг. отмечалось снижение плодоношения (до 0-2 баллов). Очень низким был урожай теплолюбивых культур (земляники *Fragaria vesca* L., смородины черной *Ribes nigrum* L., вишни *Cerasus vulgaris* L.). Хорошее плодоношение (4 балла) отмечено только у холодоустойчивых деревьев и кустарников: рябины обыкновенной и черноплодной *Aronia melanocarpa* (Michx.), березы повислой, ели европейской *Picea abies* (L.). У малины лесной *Rubus idaeus* L. массовое созревание ягод сместилось на август.

В 2019 г. наблюдалось значительное (летом до 7 суток) смещение сроков протекания этапов сезонного развития макромицетов и для большинства видов угнетение генеративных процессов (снижение плодоношения до 0-2 баллов). Урожай плодовых тел макромицетов (*Leccinum spp.*, *Russula spp.*, *Lactarius spp.*) не превышал 3 баллов. Обильный и продолжительный (до середины октября) осенний слой отмечен только у лисичек.

Продолительно прохладная погода летом 2019 г. сказалась на развитии вредителей сельскохозяйственных культур – в период вегетации отсутствовали трипсы Thysanoptera, пьявица обыкновенная, клоп остроголовый и клоп вредная черепашка.

Во все рассмотренные годы с аномальными погодными условиями в вегетационный период отмечен низкий (2-3 балла) урожай ягодных дикоросов (брусника, клюква, черника, земляника), плодово-ягодных культур (вишня, яблоня *Malus* sp., черная смородина), хвойных деревьев (сосна *Pinus sylvestris* L., лиственница *Larix sibirica* Ledeb.) и макромицетов (белый гриб *Leccinum edule* (Bull.), подберезовик и подосиновик *Leccinum spp.*, сыроежки *Russula spp.*, рыжики – *Lactarius deterrimus* Grog er и *L. deliciosus* (L.) Gray, грузди *L. resimus* Fr.

Заключение

Температурный фактор определяет климатогенно обусловленную биогеоценологическую, опосредованную синхронность происходящих в экосистемах фенологических изменений.

Анализ реакции животных и растений на аномально жаркие, засушливые и аномально холодные, дождливые условия позволил сделать заключение о достаточно широком диапазоне гомеостатических механизмов – адаптации к значительным колебаниям температуры и влажности внешней среды. Наблюдавшиеся в исследуемый период погодные аномалии с экстремальными температурно-влажностными показателями для рассмотренных видов естественных и культурных биоценозов оказались в пределах их толерантности и не вызвали необратимых процессов.

Избыток, как и недостаток, тепла и влаги действуют на большинство культурных растений и дикоросов негативно, такие метеоусловия находятся в зоне торможения развития растений и макромицетов. Аномально холодное лето 2017 и 2019 гг. и аномально жаркое засушливое лето 2010 г. по комплексу погодных характеристик были в зоне пессимума для большинства плодово-ягодных растений, дикоросов и макромицетов.

В экстремальные сезоны 2010, 2017 и 2019 гг. листопадные деревья и плодово-ягодные кустарники дали более высокий урожай при жаркой и засушливой погоде 2010 г., чем при холодной с дефицитом солнечной радиации погоде 2017 и 2019 гг. В 2010 г. урожай в 4 балла регистрировался у большинства листопадных деревьев и кустарников: березы повислой, тополя бальзамического *Populus balsamifera* L., калины обыкновенной *Viburnum opulus* L., дуба черешчатого, рябины обыкновенной, черемухи обыкновенной, шиповника коричневого, в 5 баллов – у липы мелколистной. В 2017 и 2019 гг. высокого урожая не было ни у одного из рассмотренных дикорастущих и культурных видов растений.

В годы с аномальными погодными условиями вегетационного периода (значительным избытком или дефицитом тепла и влаги) отмечается отклонение сроков развития и генеративных функций организмов.

Особенности сезонных процессов в годы с аномальными погодными условиями необходимо учитывать при биоиндикационных исследованиях для объективной оценки состояния природных экосистем.

Современная динамика дат наступления фенологических явлений соответствует особенностям климатической тенденции, проявляющейся в Северном полушарии в сокращении продолжительности зимнего сезона.

Фенологический мониторинг позволяет выявлять характер и временные параметры отклика биоты на глобальные изменения абиотических факторов.

Список литературы

Бобрецов А.В., Тертица Т.К. Теплова В.П. 2017. Влияние изменения климата на фенологию растений и животных юго-восточной части Республики Коми (Печоро-Ильчский биосферный заповедник). – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. 28, № 4, с. 74-93, doi: 10.21513/0207-2564-2017-4-74-93.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2014. – М., Росгидромет, 1008 с.

Груза Г.Н., Ранькова Э.Я. 2012. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России. – Обнинск, 194 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 год. 2011. – М., Росгидромет, 66 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. 2018. – М., Росгидромет, 69 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. 2020. – М., Росгидромет, 97 с.

Каппер В.Г. 1930. Об организации ежегодных систематических наблюдений над плодоношением древесных пород – Тр. ГНИИЛХ, вып. 8, с. 105-147.

Климат Кирова. 1982. – Л., Гидрометеиздат, 215 с.

Мусолин Д.Л., Саулич А.Х. 2012. Реакции насекомых на современное изменение климата: от физиологии и поведения до смещения ареалов. – Энтомологическое обозрение, т. 91, № 1, с. 3-35.

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 год. 2013. – М., ООО Лайт, 178 с. – Электронный ресурс. URL: <http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2012.pdf> (дата обращения 17.02.2021).

Переведенцев Ю.П., Френкель М.О., Шаймарданов М.З. 2010. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. – Казань, 242 с.

Сергиенко В.Г., Константинов А.В. 2016. Прогноз влияния изменения климата на разнообразие природных экосистем и видов флористических и фаунистических комплексов биоты России – Тр. СПбНИИЛХ, № 2, с. 29-44, doi: 10.21178/2079-6080.2016.2.27.

Соколов Л.В. 2010. Климат в жизни растений и животных. – СПб., изд-во «ТЕССА», 344 с.

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

Соловьев А.Н. 2005б. Сезонные наблюдения в природе. Программа и методика регионального фенологического мониторинга. – Киров, 96 с.

Соловьев А.Н. 2007. Климатогенная динамика сроков сезонной активности биоты востока Русской равнины в XX столетии. – Известия РАН. Сер. географическая, № 4, с. 54-65.

Соловьев А.Н. 2011. Динамика фауны востока Русской равнины в XX веке. – Успехи современной биологии, т. 131, № 5, с. 440-252.

Соловьев А.Н. 2015. Вековая динамика сроков сезонных миграций птиц в средних широтах европейского востока. – Бюллетень МОИП. Отд. биол., т. 120, вып. 1, с. 3-17.

Соловьев А.Н. 2020. Корреляционные связи дат наступления сезонных явлений. – Известия РАН. Сер. биол. № 1, с. 1-8, doi:10.31857/S0002332920010154.

Соловьев А.Н., Шихова Т.Г., Бусыгин Е.И. 2011. Влияние погодно-климатических аномалий 2010 года на состояние растений средних широт востока Русской равнины. – Вестник Удмуртского ун-та. Серия биология. Науки о земле, вып. 4, с. 8-20.

Соловьев А.Н., Шихова Т.Г., Бусыгин Е.И. 2015. Жизнедеятельность животных средних широт востока Русской равнины в условиях погодно-климатических аномалий. – Сельскохозяйственная биология, т. 50, № 2, с. 137-151, doi: 10.15389/agrobiology.2015.2.137rus

Соловьев А.Н., Шихова Т.Г., Бусыгин Е.И. 2019. Фенологические последствия холодного лета 2017 года. – Бюл. МОИП. Отд. биол., т. 124, вып. 2, с. 3-15.

Шихова Т.Г. 2018. Границы фенологических сезонов в современных климатических условиях. – Экология родного края: проблемы и пути их решения. В сб.: Матер. XIII Всерос. с междунар. уч. науч. конф. – Киров: ВятГУ, кн. 1, с. 13-16.

Шихова Т.Г. 2020. Об аномалиях сезонного развития растений и животных в 2019 г. – Биодиагностика природных и природно-техногенных систем. В сб.: Матер. XVIII Всерос. с междунар. уч. науч. конф. Киров: ВятГУ, с. 200-204.

Cahill A.E., Aiello-Lammens M.E., Caitlin F.M., Hua X., Karanewsky C.J., Ryu H.Y., Sbeglia G.C., Spagnolo F., Waldron J.B., Wiens J.J. 2014. Causes of warm-edge range limits: systematic review, proximate factors and implications for climate change. – Journal Biogeography, vol. 41, No. 3, pp. 429-442, doi: 10.1111/jbi.12231.

Cotton P.A. 2003. Avian migration phenology and global climate change. – Proceedings of the National Academy of Sciences USA, vol. 100, No. 21, pp. 12219-12222, doi: 10.1073/pnas.1930548100.

Lenoir J., Gégout J.C., Marquet P.A., De Ruffray P., Brisse H. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. – Science, vol. 320, No. 5884, pp. 1768-1771, doi: 10.1126/science.1156831.

Mann M.E., Rahmstorf S., Kornhuber K., Steinman B.A., Miller S.K., Coumou D. 2017. Influence of anthropogenic climate change on planetary wave resonance and extreme weather events. – *Scientific Reports*, vol. 7, pp. 45242, doi: 10.1038/srep45242.

Minin A.A., Trofimov I.E., Zakharov V.M. 2020. Assessments of the stability of phenological indices of the silver birch *Betula pendula* under climate change. – *Biology Bulletin*, vol. 47, No. 2, pp. 149-152, doi 10.31857/S0002332920020046.

Parmesan C. 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. – *Global Change Biology*, vol. 13, pp. 1860-1872, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01404.x.

Perevedentsev YU.P., Shantalinskiy K.M., Gur'yanov V.V., Shumikhina A.V. 2019. Hydrometeorological hazards in the Volga Federal District. – *Russian Meteorology and Hydrology*, vol. 44, No. 12, pp. 802-809, doi:10.3103/S1068373919120021.

Phenology and climate change /Xiaoyang Zhang (ed.). 2012. – Croatia. doi: 10.5772/2146.

Semenov V.A. 2012. Arctic warming favours extremes. – *Nat. Climate Change*, vol. 2, No. 5, pp. 315-316, doi: 10.1038/nclimate1502.

Thuiller W., Lavergne S., Roquet C., Boulangeat I., Lafourcade B., Araujo M.B. 2011. Consequences of climate change on the tree of life in Europe. – *Nature*, vol. 470, pp. 531-534, doi: 10.1038/nature09705.

Visser M.E., Marvelde L., Lof M.E. 2012. Adaptive phenological mismatches of birds and their food in a warming world. – *Journal of Ornithology*, vol. 153, No. 1, pp. 75-84, doi: 10.1007/s10336-011-0770-6).

WMO. 2011. Guide to Climatological Practices, Third edition, WMO-No.100 – Geneva, 117 p. Available at: https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opace/opace5/meetings/documents/WMO_100_en.pdf (дата обращения 7 февраля 2020).

Zolina O., Simmer C., Belyaev K, Gulev S.K., Koltermann P. 2013. Changes in the duration of European wet and dry spells during the last 60 years. – *Journal of Climate*, vol. 26(6), pp. 2022-2047, doi: 10.1175/JCLI-D-11-00498.1.

Статья поступила в редакцию: 30.09.2020 г.

После переработки:20.04.2021 г.

BIOTA PHENOLOGICAL REACTION CAUSED BY WEATHER-CLIMATIC ANOMALIES ON THE RUSSIAN PLAIN EASTERN PART

A.N. Soloviev*, T.G. Shikhova

Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming,
79, Preobrazhenskaya st., 610000, Kirov, Russia,
*corresponding author: *biomon@mail.ru*

Abstract. The modern dynamism of the climate and the ambiguity of the response of plants and animals to the more frequent anomalies of meteorological parameters determine the relevance of biophenological research. The original phenological database of the Kirov city and the Kirov region for more than 100 years was used. A coupled analysis of phenological shifts in the seasonal rhythm of plants and animals with deviations in the meteorological parameters of the growing seasons was carried out. The values of the shift in the timing of the seasonal development stages of the organisms in response to an excess or deficit of heat and moisture in extreme weather years (2010, 2017, 2019) have been established. During these years, there was disturbance of the generative cycle and the decrease in fruiting in cultivated and wild plants, the change in the productivity of invertebrates and the changing pattern of bird migration. The date of the transition of the average daily air temperature above 0°C, early spring and spring-summer biophenological phenomena began to occur earlier (arrival of birds, opening of leaves, blooming of plants, etc.) with similar values of trends over a century. At 1°C of positive temperature anomaly, the spring phenophases of plants began to occur on average 1 day earlier than the norm, and autumn ones – 6-8 days later. The excess of the sum of effective temperatures by 100°C in May-July caused an advance of the average dates of insect development by 1.6-4.8 days. Weather anomalies with extreme temperature and humidity for the considered species of natural and cultural biocenoses did not cause irreversible processes. The knowledge of the regional features of the range of deviations in the data of phenological seasons is necessary to identify the response of natural ecosystems to climate change, as well as in the organization of natural and economic activities.

Keywords. Phenological phenomenon, weather anomalies, phenological tendencies, phenological deviations, fruit and seed yield.

References

Bobrecov A.V., Tertica T.K., Teplova V.P. 2017. Vliyanie izmeneniya klimata na fenologiyu rastenij i zhivotnyh yugo-vostochnoj chasti Respubliki Komi (Pechora-Ilychskij biosernyj zapovednik) [The impact of climate change on the phenology of plants and animals in the southeastern part of the Komi Republic (Pechora-Ilych biosphere reserve)]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Environmental monitoring and ecosystem modeling problem*, vol. 28, no. 4, pp. 74-93, doi: 10.21513/0207-2564-2017-4-74-93.

Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii [Second Roshydromet assessment report on climate change and its consequences in Russian Federation]. 2014. Moscow, 1008 p.

Gruza G.N., Ran'kova E.Ya. 2012. *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii* [Observed and expected climate changes in Russia]. Obninsk, 194 p.

Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2010 god. [Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2010]. 2011. Moscow, 66 p.

Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2017 god. [Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2017]. 2018. Moscow, 69 p.

Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2019 god. [Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2019]. 2020. Moscow, 97 p.

Kapper V.G. 1930. Ob organizatsii yezhegodnykh sistemicheskikh nablyudenij nad plodonosheniem drevesnykh porod [On the organization of annual systematic observations of the fruiting of tree species]. *Trudy gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hoz'yajstva – Proceedings of the State Scientific Research Institute of Forestry*, vol. 8, pp. 105-147.

Klimat Kirova [The climate of Kirov]. 1982. Leningrad, Gidrometeoizdat, 215 p.

Musolin D.L., Saulich A.H. 2012. Reakcii nasekomykh na sovremennoe izmenenie klimata: ot fiziologii i povedeniya do smeshcheniya arealov [Insect responses to current climate change: from physiology and behavior to habitat shifts]. *Entomologicheskoe obozrenie – Entomological Review*, vol. 91, no. 1, pp. 3-35.

Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii za 2012 god [Review of the state and pollution in the Russian Federation for 2012]. 2013. Moscow, 178 p. Available at: <http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2012.pdf> (accessed 17 February 2021)

Perevedencev Yu.P., Frenkel' M.O., Shajmardanov M.Z. 2010. *Sovremennye izmeneniya klimaticheskikh uslovij i resursov Kirovskoj oblasti* [Modern changes in climatic conditions and resources of the Kirov region]. Kazan', 242 p.

Sergienko V.G., Konstantinov A.V. 2016. Prognoz vliyaniya izmeneniya klimata na raznoobrazie prirodnykh ekosistem i vidov floristicheskikh i faunisticheskikh kompleksov bioty Rossii [Forecast of influence of climate change on ecosystems and natural diversity species of Russian flora and fauna biotic complexes]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva – Proceedings of the Saint-Petersburg Forestry Research Institute*, no.2, pp. 29-44, doi: 10.21178/2079-6080.2016.2.27

Sokolov L.V. 2010. *Klimat v zhizni rastenij i zhivotnyh* [Climate in the life of plants and animals]. St. Petersburg, 344 p.

-
- Solov'ev A.N. 2005a. *Biota i klimat. Regional'naya fenologiya* [Biota and climate. Regional phenology]. Moscow, 288 p.
- Solov'ev A.N. 2005b. *Sezonnye nablyudeniya v prirode. Programma i metodika regional'nogo fenologicheskogo monitoring* [Seasonal observations in nature. Program and methodology of regional phenological monitoring]. Kirov, 96 p.
- Solov'ev A.N. 2007. Klimatogennaya dinamika srokov sezonnoj aktivnosti bioty vostoka Russkoj ravniny v XX stoletii [Climatogenic dynamics of the timing of seasonal activity of the biota of the east of the Russian Plain in the XX century]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya – Regional Research of Russia. Geographic series*, no. 4, pp. 54-65.
- Solov'ev A.N. 2011. Dinamika fauny vostoka Russkoj ravniny v XX veke [Dynamics of the fauna in the eastern part of the Russian Plain in the 20th century]. *Uspekhi sovremennoj biologii – Biology Bulletin Reviews*, vol. 131, no. 5, pp. 440-252.
- Solov'ev A.N. 2015. Vekovaya dinamika srokov sezonnyh migracij ptic v srednih shirotah evropejskogo vostoka [The century-long change of seasonal bird migrations in the middle latitudes of the European east]. *Byulleten' MOIP, otdel biologicheskij – Bulletin of Moscow Society of Naturalists, biological series*, vol. 120, no. 1, pp. 3-17.
- Solov'ev A.N. 2020. Korrelyacionnye svyazi dat nastupleniya sezonnyh yavlenij [Correlations of the dates of natural seasonal events]. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya. – Biology bulletin*, no. 1, pp. 1-8, doi:10.31857/S0002332920010154.
- Solov'ev A.N., Shikhova T.G., Busygin E.I. 2011. Vliyanie pogodno-klimaticheskikh anomalij 2010 goda na sostoyanie rastenij srednih shirot vostoka Russkoj ravniny [The influence of weather and climatic anomalies on plants in the eastern part of the mid-latitudes of the Russian Plain in 2010]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya biologiya. Nauki o zemle – Bulletin of Udmurt University. Series biology. Earth sciences*, vol. 4, pp. 8-20.
- Soloviev A.N., Shikhova T.G., Busygin E.I. 2015. Zhiznedeyatel'nost' zhivotnyh srednih shirot vostoka Russkoj ravniny v usloviyah pogodno-klimaticheskikh anomalij [The influence of climatic anomalies on the animals in middle latitudes of the east of the Russian Plain]. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya – Agricultural biology*, vol. 50, no. 2, pp. 137-151. doi: 10.15389/agrobiology.2015.2.137rus.
- Soloviev A.N., Shikhova T.G., Busygin E.I. 2019. Fenologicheskie posledstviya holodnogo leta 2017 goda [Phenological consequences of the cold summer of 2017]. *Byulleten' MOIP, otdel biologicheskij – Bulletin of Moscow Society of Naturalists, biological series*, vol. 124, no. 2, pp. 3-15.
- Shikhova T.G. 2018. Granicy fenologicheskikh sezonov v sovremennyh klimaticheskikh usloviyah [The boundaries of phenological seasons in modern
-

climatic conditions]. *Ekologiya rodnoyo kraya: problemy i puti ih resheniya: materialy XIII Vserossiyskoy nauchnoy konferencii* [Ecology of the native land: problems and ways to solve them: materials of the XIII All-Russian scientific conference]. Kirov, book 1, pp. 13-16.

Shikhova T.G. 2020. *Ob anomal'yakh sezonnogo razvitiya rasteniy i zhivotnykh v 2019 g.* [On anomalies in the seasonal development of plants and animals in 2019]. *Biodiagnostika prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh system : Materialy XVIII Vseros. s mezhdunarodnym uchastiyem nauch. konf.* [Biodiagnostics of natural and natural-man-made systems: Proc.Russian of sci. conf.]. Kirov, pp. 200-204.

Cahill A.E., Aiello-Lammens M.E., Caitlin F.M., Hua X., Karanewsky C.J., Ryu H.Y., Sbeglia G.C., Spagnolo F., Waldron J.B., Wiens J.J. 2014. Causes of warm-edge range limits: systematic review, proximate factors and implications for climate change. – *Journal Biogeography*, vol. 41, no. 3, pp. 429-442. doi: 10.1111/jbi.12231.

Cotton P.A. 2003. Avian migration phenology and global climate change. – *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 100, no. 21, pp. 12219-12222, doi: 10.1073/pnas.1930548100.

Lenoir J., Gégout J.C., Marquet P.A., De Ruffray P., Brisse H. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. – *Science*, vol. 320, no. 5884, pp. 1768-1771, doi: 10.1126/science.1156831.

Mann M.E., Rahmstorf S., Kornhuber K., Steinman B.A., Miller S.K., Coumou D. 2017. Influence of anthropogenic climate change on planetary wave resonance and extreme weather events. – *Scientific Reports*, vol. 7, pp. 45242, doi: 10.1038/srep45242.

Minin A.A., Trofimov I.E., Zakharov V.M. 2020. Assessments of the stability of phenological indices of the silver birch *Betula pendula* under climate change. – *Biology Bulletin*, vol. 47, no. 2, pp. 149-152, doi: 10.31857/S0002332920020046.

Parmesan C. 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. – *Global Change Biology*, vol. 13, pp. 1860-1872, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01404.x.

Perevedentsev YU.P., Shantalinskiy K.M., Gur'yanov V.V., Shumikhina A.V. 2019. Hydrometeorological hazards in the Volga Federal District. – *Russian Meteorology and Hydrology*, vol. 44, no. 12, pp. 802-809, doi: 10.3103/S1068373919120021.

Phenology and climate change /Xiaoyang Zhang (ed.). Croatia, 2012, doi: 10.5772/2146.

Semenov V.A. 2012. Arctic warming favours extremes. – *Nature Climate Change*, vol. 2, no. 5, pp. 315-316, doi: 10.1038/nclimate1502.

Thuiller W., Lavergne S., Roquet C., Boulangeat I., Lafourcade B., Araujo M.B. 2011. Consequences of climate change on the tree of life in Europe. – *Nature*, vol. 470, pp. 531-534, doi: 10.1038/nature09705.

Visser M.E., Marvelde L., Lof M.E. 2012. Adaptive phenological mismatches of birds and their food in a warming world. – *Journal of Ornithology*, vol. 153, no. 1, pp. 75-84, doi: 10.1007/s10336-011-0770-6).

WMO. 2011. Guide to Climatological Practices, Third edition, WMO-No.100, Geneva, 117 p. Available at: https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opace/opace5/meetings/documents/WMO_100_en.pdf (accessed 7 February 2020).

Zolina O., Simmer C., Belyaev K, Gulev S.K., Koltermann P. 2013. Changes in the duration of European wet and dry spells during the last 60 years. – *Journal of Climate*, vol. 26, no. 6, pp. 2022-2047, doi: 10.1175/JCLI-D-11-00498.1.