

УДК 911.9:581.543(470.4)

Янцер Оксана Васильевна,

Кандидат географических наук, Уральский государственный педагогический университет

620019, Россия, г. Екатеринбург Свердловской области, пр. Космонавтов, 26; e-mail: ksenia_yantser@bk.ru

Лаптев Никита Андреевич,

Студент, Уральский государственный педагогический университет

620019, Россия, г. Екатеринбург Свердловской области, пр. Космонавтов, 26; e-mail: nikitalaptev@mail.ru

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ СДВИГИ В СРОКАХ ЦВЕТЕНИЯ ЧЕРЕМУХИ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА УРАЛЕ

АННОТАЦИЯ. В работе представлены результаты исследования на основе картографирования и сравнительного анализа многолетних фенологических наблюдений за сроками начала цветения черемухи обыкновенной (*Radus avium* Mill.) по периодам похолоданий (1946-1975 гг.) и потеплений (1910-1945 гг; 1976-2021 гг.) для территории Северного, Среднего и Южного Урала. В большинстве ландшафтных провинций Урала установлена линейная взаимосвязь между датами начала цветения черемухи с периодами потеплений. Выявлено, что в ландшафтных провинциях средние многолетние даты начала цветения черемухи по периодам волн потеплений и похолодания, в среднем, отличаются на 3–4 суток. Различия в сроках начала цветения черемухи между ландшафтными провинциями Урала достигают максимума в 33 суток в период похолодания. Влияние рельефа на весеннее развитие вида отражает конфигурация изохрон в периоды потеплений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: феноиндикатор, сезонная динамика, ландшафтная провинция, черемуха, изменение климата, Урал, цветение черемухи, фенология, фенологические наблюдения.

Yantser Oksana Vasilievna,

Ph.D., Ural State Pedagogical University (USPU), Ekaterinburg, Russia

Laptev Nikita Andreevich,

Student, Ural State Pedagogical University (USPU), Ekaterinburg, Russia

SPATIAL-TIME SHIFTS IN THE TERMS OF FLOWERING BIRD CHERRE UNDER THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGES IN THE URALS

ANNOTATION. The paper presents the results of a study based on mapping and a comparative analysis of long-term phenological observations of the timing of the onset

of flowering of bird cherry (*Padus avium* Mill.) in periods of cooling (1946-1975) and warming (1910-1945; 1976-2021) for the territory of the Northern, Middle and Southern Urals. In most of the landscape provinces of the Urals, a linear relationship has been established between the dates of the beginning of bird cherry flowering with periods of warming. It was revealed that in the landscape provinces, the average long-term dates of the beginning of bird cherry blossoms for periods of warming and cooling waves, on average, differ by 3-4 days. Differences in the timing of bird cherry blossoms between the landscape provinces of the Urals reach a maximum of 33 days during the cooling period. The influence of relief on the spring development of the species is reflected by the configuration of isochrones during periods of warming.

KEYWORDS: pheno-indicator, seasonal dynamics, landscape province, bird cherry, climate change, Ural, bird cherry bloom, phenology, phenological observations.

Введение

Одной из актуальных проблем в последние годы является изучение реакции растений на колебания климата. Наиболее значимым становится индикация таких изменений с помощью программ многолетних фитофенологических исследований. Отмечается преобладание ярко выраженных фенологических тенденций, подтверждающих современное потепление климата. Вслед за повышением температуры зачастую происходит смещение дат весенних фенологических явлений на более ранние сроки. Однако, данная тенденция характерна не для всех видов и сообществ растений [4, 5]. Наиболее существенное и неоднозначное влияние климатических изменений характерно для растительности горных территорий. Фенологической сетью Русского Географического Общества (РГО) издана и реализовывалась на протяжении 20-21 вв. программа наблюдений за сезонными явлениями природы, благодаря чему в архивах РГО находится огромный массив данных [9], ставший базой настоящего исследования.

Глобальное потепление в 20 веке не было однородным: волны потеплений выделяются рядом авторов с 1910 по 1945, с 1976 по настоящее время, а слабое похолодание – в период с 1946 по 1975 гг. [2]. Изменения весенних температур воздуха и почвы, просыхание почвы до мягкопластичного состояния – один из важных факторов весенней динамики растений умеренного климатического пояса. Физиономичным геосистемным феноиндикатором наступления такого комплекса условий служит зацветание черемухи обыкновенной (*Padus avium* Mill.).

Цель исследования, результаты которого приводятся в данной статье – изучение реакции в сроках наступления цветения черемухи обыкновенной в ландшафтных провинциях Северного, Среднего и Южного Урала как вероятного индикатора климатических изменений в периоды потеплений и похолоданий в 20-21 веке. Возможность при помощи феноиндикации моделировать изменение происходящих в природе процессов, влияющих на сельское и лесное хозяйство, рекреацию, природопользование, охотоведение и многие другие аспекты жизни человека определяет практическую значимость изучения данной проблемы.

Материалы и методы

Согласно схеме физико-географического районирования, предложенной В.И. Прокаевым, изучаемая территория расположена в пределах пяти ландшафтных областей Новоземельско-Уральской равнинно-горной страны: таежной умеренно-континентальной, таежной континентальной, лесостепной умеренно-континентальной, лесостепной континентальной и степной континентальной [8]. В пределах таежной и лесостепной зон Северного, Среднего и Южного Урала секторные факторы дифференциации приводят к обособлению двух зонально однородных ландшафтных областей – умеренно-континентальной и континентальной. Обследованная территория административно располагается в пределах Пермского края, Свердловской, Челябинской, Оренбургской областей и республики Башкортостан. В качестве вспомогательных пунктов для уточнения вектора проведения изохрон использованы данные Кировской, Тюменской, Курганской областей, республики Коми и Удмуртской республики, Северо-Казахстанской и Актюбинской областей республики Казахстан.

В пределах таежной умеренно-континентальной ландшафтной области Урала обособляется 4 провинции: Щугоро-Вишерская западных предгорий Северного Урала, Среднегорная Щугоро-Усьвинская Северного Урала, Косью-Юрюзанская западных предгорий Среднего Урала, Низкогорная провинция Среднего Урала. Таежная континентальная область Урала включает 3 ландшафтные провинции: Ятрия-Лобвинскую восточных предгорий Северного Урала, Исетско-Лялинскую восточных предгорий Среднего Урала и Тагило-Пышминскую Зауральского пенепплена. В пределах лесостепной ландшафтной области Урала в умеренно-континентальных условиях выделяется Западная предгорно-среднегорная провинция Южного Урала [8, 10]. В континентальном секторе сформировались природные комплексы двух ландшафтных провинций – Восточной предгорно-среднегорной Южного Урала и Исетско-Уйской провинции Зауральского пенепплена. Степная ландшафтная область занимает крайнее южное положение на обследованной территории Южного Урала, отличаясь засушливостью и континентальностью климата. В пределах степной континентальной области отчетливо выделяются две ландшафтные провинции: Южноуральское плоскогорье и Урало-Тобольская провинция Зауральского пенепплена.

Изучение динамики сроков зацветания черемухи сопряжено с применением методов, основанных на сборе, обработке и анализе существенного массива первичных данных в пределах опорных пунктов и ключевых участков. В результате инвентаризации архивных документов, локализованных в Фенологическом центре БИН РАН им. В.Л. Комарова, были отобраны первичные фитофенологические данные, собранные по программам Уральского общества любителей естествознания (УОЛЕ),

фенологической комиссии Всесоюзного географического общества, Русского географического общества (РГО). Исследуемая территория отличается развитой промышленностью и сельскохозяйственным освоением, влияние антропогенного фактора сказывается на ходе естественных процессов. Для изучения фенологии растений необходимо в качестве ключевых участков, расположенных в типичных условиях в пределах региона, исследовать также слабо- и неизменные природные комплексы. Поэтому в работе использованы материалы Летописей природы заповедников Урала: Басеги, Башкирского, Висимского, Вишерского, Денежкин камень, Ильменского, Печоро-Ильчского, Южно-Уральского, Шульган-Таш, Шайтан-Тау и Оренбургского заповедников.

Исходные бумажные материалы были оцифрованы и занесены в электронные таблицы для соответствующих пунктов наблюдений. Они имеют разную степень полноты представленности и непрерывности многолетних рядов дат начала цветения черемухи обыкновенной (*Padus avium* Mill). Многолетние ряды фенологических наблюдений накоплены классическим методом, по классификации В.А. Батманова – первичным методом группы регистраторов срока, суть которого состоит в регистрации даты наступления какого-либо явления на определенной территории [11]. Затем исходные материалы были сгруппированы по территориальному признаку для каждой провинции и проанализированы на дефектность. При статистической обработке материалов рассчитаны средние многолетние даты ($X_{\text{ср.}}$) наступления явления по каждому пункту для расчетных периодов, дисперсия (σ^2), стандартное отклонение среднего значения (σ) и крайние даты регистрации явления. Даты с отклонением более ± 3 суток от средних и аномальные были исключены из базы данных. Значения среднегодовых фенодат достоверны в интервале $X_{\text{ср.}} \pm 2\sigma$ согласно допустимому в фенологических исследованиях 5%-му уровню значимости, оценённому по критерию Стьюдента ($P=0,95$). Для характеристики динамики произведен расчет линейных трендов по многолетним рядам наблюдений по каждому пункту наблюдений. Оценка тренда проводилась методом наименьших квадратов: находилась линейная функция времени $d^*(t) = At+B$ [4, 6]. Календарные даты переводились в непрерывные ряды путем отсчета от 1 марта [3]. Более раннее наступление явлений фиксируется отрицательным трендом, более позднее – положительным.

Для визуализации пространственных закономерностей протекания фитофенологических процессов применялась кроссплатформенная геоинформационная система (ГИС) QGIS Desktop версии 3.26.1 [1, 7]. ГИС-технологии дают возможность картографировать параметры фенологических явлений в пределах опорных пунктов и ключевых участков и строить пространственную информационную модель встроенными средствами ГИС.

Результаты

Картографирование позволило создать динамические карты по срокам цветения черемухи в пределах ландшафтных провинций Урала в разные климатические периоды XX-XXI вв. (Рис. 1). Проанализирована динамика сроков наступления явления по периодам потеплений и похолоданий. Результатом работы стал расчет и анализ трендов сроков наступления явления в более чем в 500 пунктах фенологической сети Урала и сопредельных территорий.

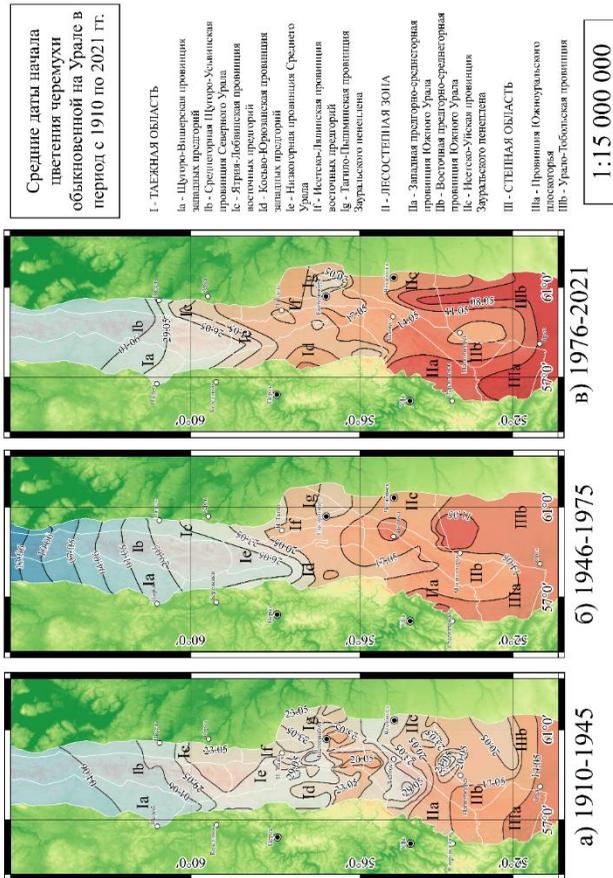


Рис. 1. Средние многолетние даты начала цветения черемухи обыкновенной по периодам потеплений и похолоданий в 20-21 вв.

Обсуждение

Цветение черемухи начинается в степной области: в провинции Южноуральского плоскогорья и на юге Урало-Тобольской провинции и заканчивается в Щугоро-Вишерской провинции западных предгорий, Щугоро-Усьвинской среднегорной провинции Северного Урала и на крайнем севере Ятрия-Лобвинской провинции восточных предгорий. Различия в сроках начала цветения черемухи на Урале составляют от 21 до 24 суток в периоды волны потепления и 33 суток в период похолодания с 1946 по 1975 гг. Более растянут он в период относительного похолодания. В периоды потеплений ход изолиний в большей степени отражает влияние рельефа на сроки наступления явления, особенно четко это прослеживается в лесостепной зоне, а также в таежной области: в Косьво-Юрюзанской провинции западных предгорий, в низкогорной провинции Среднего Урала, в южной части среднегорной провинции Северного Урала, и в степной зоне – в Урало-Тобольской провинции Зауральского пенепплена.

Различия в средних многолетних датах наступления цветения черемухи по периодам волн потеплений и похолодания в пределах ландшафтных провинций, в среднем, составляют от 3-4 суток. Максимальны они между периодом волн потепления 1910 по 1945 гг. и периодом слабого похолодания с 1946 по 1975 гг., например, в поселке Висим (низкогорная провинция Среднего Урала) разница в средних датах составляет до 7 суток, Верхнеуральске (Восточная предгорно-среднегорная провинция Южного Урала) – до 13 суток, и между периодом слабого похолодания с 1946 по 1975 гг. и последующим с 1976 г. по настоящее время потеплением: в Североуральске (Ятрия-Лобвинская провинция восточных предгорий) они достигают 9 суток, а в Чебаркуле (Исетско-Уйская провинция Зауральского пенепплена) до 10 суток.

Во все изучаемые периоды в Ятрия-Лобвинской провинции восточных предгорий и Щугоро-Вишерской провинции западных предгорий отмечается синхронное изменение климата и трендов весеннего развития черемухи. В Тагило-Пышминской провинции Зауральского пенепплена в каждый период наблюдаются несогласованность сдвигов сроков весеннего развития черемухи и климатических тенденций.

В период потепления с 1910 по 1945 г. в Восточной предгорно-среднегорной провинции Южного Урала, Исетско-Уйской провинции Зауральского пенепплена, Урало-Тобольской провинции Зауральского пенепплена, Исетско-Северо-Сосьвинской провинции восточных предгорий, Среднегорной провинции Северного Урала, в Косьво-Юрюзанской провинции западных предгорий сроки цветения черемухи имели отрицательный тренд – отмечено более раннее развитие в большинстве пунктов каждой провинции.

В период относительного похолодания с 1946 по 1975 гг. в Исетско-Уйской провинции Зауральского пенепплена, Урало-Тобольской провинции Зауральского пенепплена, Исетско-Северо-Сосьвинской провинции восточных предгорий, низкогорной провинции Среднего Урала, в Косьво-Юрюзанской провинции западных предгорий наблюдаются отрицательные тренды, маркирующие более раннее цветение. Примечательно, что в примыкающих к Косьво-Юрюзанской провинции с запада равнинных районах отмечаются также более ранние сроки наступления явления при похолодании. В Восточной предгорно-среднегорной провинции Южного Урала отмечается нулевой тренд. В этот период наблюдается сдвиг изохрон к северу в степной и лесостепной ландшафтных областях. В северных провинциях явление начитается позже на 3–9 суток.

В период потепления с 1976 года в Восточной предгорно-среднегорной провинции Южного Урала, в Урало-Тобольской провинции Зауральского пенепплена, Западной предгорно-среднегорной провинции Южного Урала, Косьво-Юрюзанской провинции западных предгорий выявлены тенденции к более раннему цветению черемухи, процессы происходят синхронно. В Среднегорной Щугоро-Усьвинской провинции Северного Урала и в Исетско-Уйской провинции Зауральского пенепплена явление запаздывает. Низкогорная провинция Среднего Урала характеризуется разнонаправленностью трендов в разных пунктах без общей тенденции.

Внутри провинций иногда наблюдаются довольно сильные различия в откликах вида на климатические изменения: не везде общая тенденция потепления или похолодания проявляется в сроках начала цветения черемухи. В ряде пунктов наблюдений в пределах одной провинции на фоне общей тенденции развития наблюдается обратная картина. Например, в период потепления с 1910 по 1945 г. в Косьво-Юрюзанской провинции западных предгорий, в целом, отмечены более поздние сроки цветения, но в пунктах наблюдений в Шалинском районе и в Михайловске они синхронно с потеплением климата наступают раньше. А в период похолодания в этой же провинции наблюдаются отрицательные тренды, кроме Шалинского района (Свердловская область), где зацветание черемухи имеет положительный тренд, наступает позже и синхронно с климатическими изменениями. Вероятно, асинхронность климатических трансформаций (температурных характеристик) и знаков тренда цветения черемухи, особенно в период похолодания, связана с влиянием на физиологию вида изменения количества осадков, особенно в предшествующий вегетации и цветению зимний и ранневесенний периоды.

Выводы

В большинстве провинций Урала установлена линейная взаимосвязь между датами начала цветения черемухи с периодами потеплений. Несомненно,

гласованный ход температурных изменений и знаков тренда цветения черемухи в период похолодания может быть обусловлен влиянием изменения количества осадков предшествующего вегетации периода года и особенностями схода и таяния снежного покрова.

Средние многолетние даты начала цветения черемухи по периодам волн потеплений и похолодания в пределах ландшафтных провинций, в среднем, отличаются на 3-4 суток. Различия в сроках начала цветения черемухи между ландшафтными провинциями Урала составляют от 21 до 33 суток, достигая максимума в период похолодания в середине 20 века. Конфигурация и ход изолиний в большей степени отражает влияние рельефа в периоды потеплений.

Картографическое отображение сезонно-динамических явлений позволяет оптимизировать выявление фенологических закономерностей и механизмов динамики ландшафтов региона. Исследование временных трендов в развитии феноиндикаторов позволяет соотнести и выявить влияние на них климатических трансформаций, определить особенности реакции вида на меняющиеся условия среды.

Список литературы

1. Воробьева Т. А. Картографирование природопользования: опыт комплексных атласов / Т. А. Воробьева, Т. В. Котова, М. В. Слипечук и др. // Наука. Инновации. Технологии. – 2020. – №1. – С. 125–140
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: общее резюме. Россия, М., 2014. 60 с.
3. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М. : Наука, 1984. 424 с.
4. Минин А. А., Воскова А. В. Гомеостатические реакции растений на современные изменения климата: пространственно-фенологические аспекты // Онтогенез. 2014. № 3 (45). С. 162–169.
5. Минин А. А., Кузнецова В. В., Голубева Е. И. Фенологические явления в системе биоиндикации климатических трендов // Проблемы региональной экологии. 2014. № 5. С. 66-71.
6. Минин А. А., Ранькова Э. Я., Буйволов Ю. А., Спаельникова И. И., Филатова Т. Д. Фенологические тренды в природе центральной части Русской равнины в условиях современного потепления // Жизнь Земли том 40. 2018. № 2. С. 162-174.
7. Официальный сайт QGIS [электронный ресурс] URL: <https://qgis.org/ru/site/index.html> (дата обращения: 30.05.2022)
8. Прокаев В. И. Физико-географическое районирование : учеб. пособие для студентов пед. ин-тов. М.: Просвещение, 1983. 176 с.

9. Фенологическая сеть Русского географического общества [электронный ресурс] URL: <https://fenolog.rgo.ru/> (дата обращения: 30.04.2021)

10. Шакиров А. В. Физико-географическое районирование Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 617 с.

11. Янцер О. В., Скок Н. В. Фенологические методы исследований в изучении динамики ландшафтов: общий обзор // Вестник Башкирского университета. 2016. Том 21. №1. С. 91-100.