

Влияние климатических изменений на сроки начала цветения черемухи обыкновенной на Урале в XX-XXI веке

О.В. Янцер*, Н.А. Лантев

Уральский государственный педагогический университет,
Россия, 620019, Свердловская обл., г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26

Адрес для переписки: *ksenia_yantser@bk.ru

Реферат. Изучение реакции растений на современные климатические изменения актуально и значимо. Растительность горных территорий характеризуется наиболее существенным и неоднозначным откликом на изменение гидротермического режима во времени. В статье проанализированы материалы существенного массива первичных данных, собранных в пределах опорных пунктов и ключевых участков Урала, Предуралья и Зауралья наблюдателями Уральского общества любителей естествознания (УОЛЕ), фенологической комиссии Всесоюзного географического общества, фенологической сети Русского географического общества. Использованы данные Летописей природы заповедников Урала: Басеги, Башкирского, Висимского, Вишерского, Денежкин камень, Ильменского, Печоро-Илычского, Южно-Уральского, Шульган-Таш, Шайтан-Тау и Оренбургского по периодам относительных потеплений (1910-1945 гг.; 1976-2021 гг.) и похолодания (1946-1975 гг.). Физиологичным геосистемным феноиндикатором нарастания весенних температур воздуха и почвы, просыхания почвы, служит зацветание черемухи обыкновенной *Padusavium* Mill.; результаты изучения трендов изменения сроков начала явления представлены для ландшафтных провинций Северного, Среднего и Южного Урала. Динамическое картографирование пространственных данных в более чем 500 пунктах фенологической сети Урала и сопредельных территорий для климатических периодов XX-XXI вв. проведено в кроссплатформенной геоинформационной системе QGisDesktop. В большинстве пунктов наблюдений установлена линейная взаимосвязь между периодами потеплений и началом явления. Внутри провинций иногда наблюдаются довольно сильные различия в откликах вида на климатические изменения: не везде общая тенденция потепления или похолодания вызывает однозначную реакцию вида. В границах ландшафтных провинций средние многолетние даты начала цветения черемухи по периодам волн потеплений и похолодания сдвигаются на 3-4 суток, достигая максимума в 13 суток между потеплением начала-середины XX века и слабым похолоданием середины - второй трети XX века в Восточной предгорно-среднегорной провинции Южного Урала. Сроки начала цветения черемухи между крайними северными и южными пунктами в ландшафтных провинциях максимально различаются в период похолодания, достигая 33 суток. Весеннее генеративное развитие вида максимально подвержено влиянию рельефа в периоды потепле-

ний. В эти же сроки между ландшафтными областями с юга на север продвижение фронта начала цветения черемухи происходит более быстрыми темпами.

Ключевые слова. Феноиндикатор, сезонная динамика, ландшафтная провинция, черемуха, изменение климата, Урал.

The influence of climatic changes on the timing of the beginning changes of flowering of common cherry in the Urals in the XX-XXI century

O.V. Yantser, N.A. Laptev*

Ural State Pedagogical University,
26, Kosmonavtov Ave, 620019, Sverdlovsk region, Yekaterinburg, Russian Federation

Correspondence address: *ksenia_yantser@bk.ru

Annotation. The study of the reaction of plants to modern climatic changes is relevant and significant. The vegetation of mountainous territories is characterized by the most significant and ambiguous response to changes in the hydrothermal regime over time. The article analyzes the materials of a substantial array of primary data collected within the strongholds and key areas of the Urals, the Urals and the Trans-Urals by the observers of the Ural Society of Lovers of Natural Science (UOLE), the Phenological Commission of the All-Union Geographical Society, the phenological network of the Russian Geographical Society. The data of the Chronicles of nature reserves of the Urals were used: Basegi, Bashkir, Visim, Vishersky, Denezhkin Kamen, Ilmen, Pechora-Ilych, South Ural, Shulgan-Tash, Shaitan-Tau and Orenburg by periods of relative warming (1910-1945; 1976-2021) and cooling (1946-1975). The physiological geosystem phenomenon indicator of the increase in spring air and soil temperatures, drying of the soil, is the flowering of the common bird cherry *Padusavium* Mill., the results of the study of trends in the timing of the onset of the phenomenon are presented for the landscape provinces of the Northern, Middle and Southern Urals. Dynamic mapping of spatial data in more than 500 points of the geological network of the Urals and adjacent territories for climatic periods of the XX-XXI centuries was carried out in the cross-platform geoinformation system QGISDesktop. In most observation points, a linear relationship has been established between the periods of warming and the onset of the phenomenon. Within provinces, there are sometimes quite significant differences in the responses of a species to climate change: not everywhere the general trend of warming or cooling causes an unambiguous reaction of the species. Within the borders of the land-shaft provinces, the average long-term dates of the beginning of cherry blossoms in the periods of waves of warming and cooling shift by 3-4 days, reaching a maximum of 13 days between the warming of the early-mid XX century and a slight cooling of the middle-second third of the XX century in the Eastern foothill-mid-mountain province of the Southern Urals. The timing of the beginning of cherry blossoms between the extreme northern and southern points in

the landscape provinces differ as much as possible during the cold snap, reaching 33 days. The spring generative development of the species is maximally affected by the relief during periods of warming. At the same time, between landscape areas from south to north, the advance of the front of the beginning of cherry blossoms occurs at a faster pace.

Keywords. Phenoinicator, seasonal dynamics, landscape province, bird cherry, climate change, Ural.

Введение

Согласно опубликованным данным Росгидромета (Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата ..., 2014), за период 1976-2017 гг., средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха на территории Российской Федерации составила $0.46^{\circ}\text{C}/10$ лет, что в 2.5 раза больше скорости роста глобальной температуры за тот же период. При этом, скорости и тенденции изменения климатических показателей в отдельных регионах, и особенно в горных территориях, отличаются от общих. Климатические изменения в настоящее время представляют собой комплексную проблему, в связи с чем одним из актуальных направлений исследований последних лет стало изучение реакции растений на колебания климата. Потепление климата вероятно скажется на сроках важных сезонных событий в жизни растений, таких как начало цветения, от которого зависят многие процессы в жизни растений (образование плодов, рассеивание семян и т.п.) и животных, для которых пыльца и нектар являются источниками пищи. Наиболее значимыми становятся долгосрочные исследования по программам многолетних фенологических наблюдений. Их результаты нередко индицируют наблюдаемые тенденции в современном потеплении климата. Зачастую, более ранние даты весенних фенологических явлений фиксируются вслед за повышением температуры среды. Однако, данная тенденция свойственна не всем видам и природным комплексам (Минин, Воскова, 2014; Минин и др., 2014). Наиболее существенным и неоднозначным откликом на влияние климатических изменений характеризуется растительность горных территорий. Фенологической сетью Русского Географического Общества (РГО) на протяжении XX-XXI вв. реализовывалась программа наблюдений за сезонными явлениями природы, благодаря чему в его архивах находится огромный массив данных (<https://fenolog.rgo.ru/>), ставший базой настоящего исследования.

Ландшафтная структура территории Урала представляет собой развивающуюся полимасштабную систему, сформированную за счет разномасштабных вкладов факторов и эмерджентных эффектов взаимодействия (Хорошев, 2016; Коновалова, 2012). Динамическое развитие геосистем разного ранга включает циклическую смену их сезонных состояний и служит проявлением свойства устойчивости. Глобальное потепление в XX веке не было однородным: ряд авторов выделяет волны потеплений с 1910 по 1945 гг., с 1976 г. по настоящее время, и слабое похолодание – в период с 1946 по 1975 гг. (Второй оценочный

доклад Росгидромета об изменениях климата ..., 2014). Изменения весенних температур воздуха и почвы, просыхание почвы – важные факторы весенней динамики растений умеренного климатического пояса. Физиологичным геосистемным феноиндикатором наступления такого комплекса условий служит зацветание черемухи обыкновенной *Radusavium* Mill.

Цель исследования – 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 XX-XXI вв. Феноиндикация позволит моделировать изменение происходящих в природе процессов, влияющих на сельское и лесное хозяйство, рекреацию, природопользование и множество других аспектов жизни человека, что определяет практическую значимость изучения данной проблемы.

Материалы и методы

Согласно схеме физико-географического районирования, предложенной В.И. Прокаевым, изучаемая территория расположена в пределах пяти зонально однородных ландшафтных областей Новоземельско-Уральской равнинно-горной страны: таежной умеренно-континентальной, таежной континентальной, лесостепной умеренно-континентальной, лесостепной континентальной и степной континентальной (Прокаев, 1983). Административно она 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 Актыбинской 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, Косьво-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 границах лесостепной ландшафтной области Урала в умеренно-континентальных условиях представлена Западная предгорно-среднегорная провинция Южного Урала (Прокаев, 1983; Шакиров, 2011). В континентальном секторе сформировались природные комплексы двух ландшафтных провинций – Восточной предгорно-среднегорной Южного Урала и Исетско-Уйской провинции Зауральского пенепплена. Степная континентальная ландшафтная область занимает крайнее южное положение на территории Южного Урала, в ее пределах выделяются две ландшафтные провинции: Южноуральское плоскогорье и Урало-Тобольская провинция Зауральского пенепплена (Гурьевских и др., 2021).

Изучение динамики сроков зацветания растений производится на основании сбора, обработки и анализа существенного массива первичных данных в пределах опорных пунктов, где производятся более подробные наблюдения. К ним относятся крупные населенные пункты и их окрестности, где собирается не единичное наблюдение, а набор, характеризующий пространственные закономерности процессов динамики природных комплексов. Для изучения фенологии растений в качестве ключевых участков, расположенных в типичных условиях в пределах региона, исследованы слабо- и неизменные природные комплексы. Более полные и стабильные сведения получены из заповедников. Поскольку они расположены в типичных природных условиях, отражают ландшафтное разнообразие и функционируют по единой программе наблюдений Летописи природы, их можно отнести к числу наиболее надежных источников. Накопленный ими фактический материал документального характера содержит информацию о состоянии и динамике природных явлений и процессов, отвечает требованиям достоверности, массовости, репрезентативности и многолетней преемственности. Поэтому в работе использованы материалы Летописей природы заповедников Урала: Басеги, Башкирского, Висимского, Вишерского, Денежкин камень, Ильменского, Печоро-Илычского, Южно-Уральского, Шульган-Таш, Шайтан-Тау и Оренбургского. 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, РГО. Исследуемая территория отличается развитой промышленностью и сельскохозяйственным освоением, влияние антропогенного фактора сказывается на ходе естественных процессов.

Исходные бумажные материалы были оцифрованы и занесены в электронные таблицы для соответствующих пунктов наблюдений (рис. 1). Они имеют разную степень полноты представленности и непрерывности многолетних рядов дат начала цветения *Padusavium* 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 (Янцер, Скок, 2016).

Сложность рельефа и геологического строения гор определяет значительную пестроту режима увлажнения и микроклиматических условий, растительных группировок даже на очень небольших участках. Это обуславливает мозаичность и мелкоконтурность природных комплексов низшего ранга, и определило необходимость генерализации фенологических данных в масштабе ландшафтных провинций. На следующем этапе обработки данных материалы были сгруппированы по территориальному признаку для каждой провинции и проанализированы на дефектность. При статистической обработке материалов рассчитаны средние многолетние даты ($X_{cp.}$) наступления явления по каждому пункту для расчетных периодов, дисперсия (σ^2), стандартное отклонение среднего значения (σ) и крайние даты регистрации явле-

ния (Гурьевских и др., 2021). 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, оцененному по критерию Стьюдента ($P=0.95$). Календарные даты переводились в непрерывные ряды путем отсчета от 1 марта (Зайцев, 1984), рис. 2.

Местоположение	Координаты	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940
Пермский край, Кунгур	57°24'49.3" с. ш. 56°58'53.9" в. д.	29.05	19.05	26.05	11.05	19.05	21.05	23.05	24.05	28.05	11.05	26.05	11.05
Пермский край, Кляз	57°52'01" с. ш. 58°38'43" в. д.	30.05		19.05	13.05	30.05	21.05	26.05	31.05				09.06
Пермский край, Пермь	58°00'50" с. ш. 56°14'56" в. д.		23.05	07.05	9.05	15.05	21.05	22.05	27.05		25.05		
Пермский край, Чердынь	60°23'57.1" с. ш. 56°28'57.6" в. д.	07.04	07.06	21.05	25.05	02.06	24.05	31.05	30.05	31.05	28.05	31.05	13.06
Республика Башкортостан, Уфа	54°44' с. ш. 55°58' в. д.	18.05	15.05	08.05	05.04	15.05	17.05	13.05	18.05	15.05	13.05		19.05
Республика Башкортостан, Белорецк	53°58'00" с. ш. 58°24'00" в. д.	19.05	19.05	12.05	24.05	22.05	15.05	01.06	18.05		19.05		
Республика Башкортостан, Бирск	55°24'37.3" с. ш. 55°32'48.4" в. д.	21.05	15.05	11.05	09.05	16.05		15.05			15.05	17.05	
Республика Башкортостан, с. Бакалы	55°10'35" с. ш. 53°48'10" в. д.	18.05	12.05	25.04	10.05	13.05	12.05	17.05	22.05	23.05	21.05	21.05	19.05
Свердловская область, Ивдель, д. Лава	60°19'36" с. ш. 60°49'31" в. д.	29.05		20.05	10.05		21.05		26.05		29.05	01.06	24.05
Свердловская область, Ирбит	57°40'00" с. ш. 63°04'00" в. д.	29.05	19.05	14.05	18.05	19.05		15.05	27.05	15.05			
Свердловская область, Верхотурье	58°52'00" с. ш. 60°48'00" в. д.		18.05	18.05	14.05		23.05	29.05	28.05			28.05	03.06
Свердловская область, пос. Висим	57°39' с. ш. 59°29' в. д.	05.05	27.05	09.05	20.05	29.05		24.05	30.05		19.05		21.05
Свердловская область, Висимский район, Висимо-Шайтанский	57°38' с. ш. 59°30' в. д.	03.05	27.05	09.05	20.05	29.05	22.05	24.05	30.05	31.05		29.05	08.06
Свердловская область, Висимский район, д. Захарова	57°41' с. ш. 59°35' в. д.	02.06	27.05	19.05	14.05	31.05	25.05	25.05		27.05	7.05	12.05	16.05
Свердловская область, Егоршино	57°36'59" с. ш. 61°8'762" в. д.	25.05		17.05		23.05	23.05	23.05	31.05	27.05		23.05	21.05
Свердловская область, Екатеринбург		22.05	17.05	15.05	08.05	24.05	31.05	17.05	26.05	29.05	08.05	26.05	26.05
Свердловская область, Краснофимск	56°37'00" с. ш. 57°46'00" в. д.		18.05	22.05	17.05	25.05	20.05	24.05	29.05	02.06	10.05	28.06	02.06
Свердловская область, Кузино	57°01'06" с. ш. 59°26'25" в. д.	27.05	21.05	17.05	12.05	27.05	25.05	30.05	30.05	03.06	14.05	28.05	08.06
Свердловская область, Михайловский завод	45.1267624 с. ш. и 42.0316353 в. д.		30.05	18.05	13.05	25.05		23.05	03.05	25.05	12.05	22.05	21.05
Свердловская область, п. Старотуринск	57°13'40" с. ш. 59°20'00" в. д.	04.06	23.05	15.05	20.05	26.05	24.05	26.05	29.05		21.05		23.05

Рисунок 1. Скриншот исходных данных для некоторых пунктов наблюдений в период 1929-1940 гг.

Figure 1. Screenshot of the initial data for some observation points in the period from 1929-1940

Местоположение	Координаты	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940
Пермский край, Кунгур	57°24'49.3" с. ш. 56°58'53.9" в. д.	90	89	87	72	80	82	84	85	89	72	87	72
Пермский край, Кляз	57°52'01" с. ш. 58°38'43" в. д.	91	86	80	74	91	82	87	92	92	92	97	101
Пермский край, Пермь	58°00'50" с. ш. 56°14'56" в. д.	84	68	70	76	82	83	88	87	86	86	86	
Пермский край, Чердынь	60°23'57.1" с. ш. 56°28'57.6" в. д.	38	99	82	86	94	85	92	91	92	89	92	105
Республика Башкортостан, Уфа	54°44' с. ш. 55°58' в. д.	79	76	69	36	76	78	74	79	76	74	77	80
Республика Башкортостан, Белорецк	53°58'00" с. ш. 58°24'00" в. д.	80	80	73	85	83							
Республика Башкортостан, Бирск	55°24'37.3" с. ш. 55°32'48.4" в. д.	82	76	72	70	77	76	76	93	79	80	80	
Республика Башкортостан, с. Бакалы	55°10'35" с. ш. 53°48'10" в. д.	79	73	56	71	74	73	78	83	84	82	82	80
Свердловская область, Ивдель, д. Лава	60°19'36" с. ш. 60°49'31" в. д.	90	86	81	71	77	82	85	87	89	90	93	85
Свердловская область, Ирбит	57°40'00" с. ш. 63°04'00" в. д.	90	80	75	79	80	78	76	88	76	77		
Свердловская область, Верхотурье	58°52'00" с. ш. 60°48'00" в. д.		79	79	75	80	84	90	90	89	89	89	95
Свердловская область, пос. Висим	57°39' с. ш. 59°29' в. д.	66	88	70	81	90	88	85	91	86	80		82
Свердловская область, Висимский район, Висимо-Шайтанский	57°38' с. ш. 59°30' в. д.	64	88	70	81	90	83	85	91	92	91	90	100
Свердловская область, Висимский район, д. Захарова	57°41' с. ш. 59°35' в. д.	94	88	80	75	92	86	86	87	88	68	73	77
Свердловская область, Егоршино	57°36'59" с. ш. 61°8'762" в. д.	86	82	78	81	84	84	84	92	88	86	84	82
Свердловская область, Екатеринбург		83	78	76	69	85	92	78	87	90	69	87	87
Свердловская область, Краснофимск	56°37'00" с. ш. 57°46'00" в. д.	79	83	78	86	81	85	90	94	71	120	94	

Рисунок 2. Скриншот перевода дат путем отсчета от 1 марта с выбраковкой недостающие даты в многолетнем ряду, аппроксимированные автоматически, отмечены красным цветом

Figure 2. Screenshot of the translation of dates by counting from March 1 with culling missing dates in the multi-year series, approximated automatically, are marked in red

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 $d^*(t) = At + B$ (Минин, Воскова, 2014; Минин и др., 2018). Более раннее наступление явлений фиксируется отрицательным трендом, более позднее – положительным. Расчет широтного фенологического градиента – время (число суток), в течение которого фронт сезонного явления продвигается на 1° широты (111 км) представлен по изучаемым периодам от 52° до 60° с.ш.

Для визуализации пространственных закономерностей протекания фито-фенологических процессов применялась кроссплатформенная геоинформационная система (ГИС) QGIS Desktop версии 3.26.1 (Воробьева, 2020; Официальный сайт QGIS, 2022).

Результаты

Картографирование позволило создать динамические карты по срокам цветения черемухи в пределах ландшафтных провинций Урала в разные климатические периоды XX-XXI вв. (рис. 3).

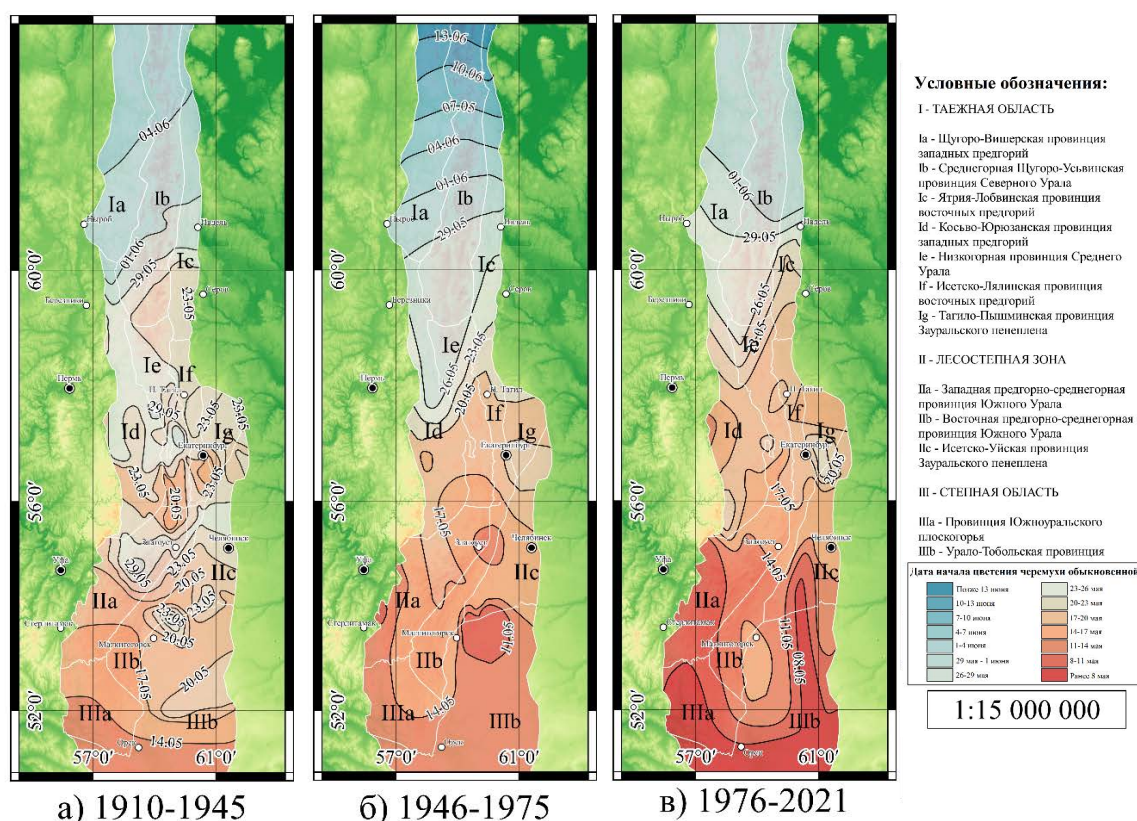


Рисунок 3. Средние многолетние даты начала цветения черемухи обыкновенной по периодам потеплений и похолоданий в 20-21 вв.

Figure 3. Average long - term dates of the beginning of flowering of the common cherry by periods of warming and cooling in the 20th -21st centuries

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. Зацветание черемухи, в среднем, наступает 11 мая на юге региона и наблюдается до 13 июня в горной полосе севера территории. Расположение изофен – субширотное в крайних южной и северной частях. В промежутке от 52° с.ш. до 60° с.ш. конфигурация изолиний сильно варьирует от субмеридиональной до замкнутых изофен. Средний широтный фенологический градиент за весь изучаемый период с 1910 по 2021 гг. составляет 2 сут/1° широты. Минимальными величинами он характеризуется в первый период потепления в восточных предгорьях Урала (1.1 сут/1° широты), максимальными – в западных предгорьях во второй период потепления – с 1976 г. по настоящее время (3.1 сут/1° широты). При похолодании с 1946 по 1975 гг. градиент одинаков на западных, восточных склонах и в предгорьях до 1.9 сут/1° широты.

Обсуждение

Цветение черемухи начинается в степной области: в провинции Южно-уральского 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 во время волн потепления, более растянут процесс – до 33 суток, в период относительного похолодания 1946-1975 гг. Ход изолиний в большей степени отражает влияние рельефа на сроки наступления явления в периоды потеплений, 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, в лесостепной Восточной предгорно-среднегорной провинции Южного Урала и в степной зоне – в Урало-Тобольской провинции Зауральского пенепплена.

Различия в сроках зацветания черемухи на одной широте – 52°, 56°, 60° с.ш. между периодами волн потеплений и похолодания составляют 3 суток. С 1910 по 1945 гг. на территории Урала фронт явления проходит за 21 сутки, с 1946 по 1975 гг. процесс максимально растянут – более чем 30 суток, с 1976 года – более чем за 23 суток. Различия в средних многолетних датах наступления цветения черемухи в пределах ландшафтных провинций также находятся в пределах 3-4 суток. Максимальны они между периодом волн потепления 1910 по 1945 гг. и периодом слабого похолодания с 1946 по 1975 гг. Например, в низкогорной провинции Среднего Урала (поселок Висим) разница в средних датах зацветания *Padusavium* Mill составляет до 7 суток, в Восточной предгорно-среднегорной провинции Южного Урала (г. Верхнеуральск) – до 13 суток; между периодом слабого похолодания и последующим с 1976 г. по настоящее время потеплением – 9 суток в Ятрия-Лобвинской провинции восточных предгорий (г. Североуральск), в Исетско-Уйской провинции Зауральского пенепплена (пос. Чебаркуль) до 10 суток.

Во все изучаемые периоды в Щугоро-Вишерской провинции западных предгорий и Ятрия-Лобвинской провинции восточных предгорий Урала отмечено синхронное изменение климата и трендов весеннего развития черемухи. В Тагило-Пышминской провинции Зауральского пенепплена сдвиги сроков весеннего развития черемухи и климатических тенденций несогласованы.

В период потепления с 1910 по 1945 гг. 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 направленность развития явления имела отрицательный тренд – в большинстве пунктов каждой провинции отмечены более ранние даты. В западных предгорьях Урала повсеместно зацветание черемухи отмечено на 3 суток раньше, чем в восточных.

С 1946 по 1975 гг., при относительно похолодании в Косьво-Юрюзанской провинции западных предгорий, Исетско-Северо-Сосьвинской провинции восточных предгорий, низкогорной провинции Среднего Урала, Исетско-Уйской провинции Зауральского пенепплена, Урало-Тобольской провинции Зауральского пенепплена, наблюдаются отрицательные тренды, маркирующие более раннее цветение. Примечательно, что в примыкающих с запада к Косьво-Юрюзанской провинции равнинных районах в этот период также отмечаются более ранние сроки наступления явления. В Восточной предгорно-среднегорной провинции Южного Урала выявлен нулевой тренд. В это время наблюдается сдвиг изохрон к северу в степной и лесостепной ландшафтных областях. В северных провинциях явление начинается позже на 3-9 суток. Зацветание в западных и восточных предгорьях Южного и Среднего Урала при похолодании происходило в одни сроки, в западных предгорьях Северного Урала – наступало на 1-2 суток раньше по сравнению с восточными.

В период потепления с 1976 г. 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 Исетско-Уйской провинции Зауральского пенепплена и в Среднегорной Щугоро-Усьвинской провинции Северного Урала явление запаздывает. В низкогорной провинции Среднего Урала выявлена разнонаправленность трендов в пунктах наблюдений без преобладающей тенденции. В западных предгорьях Южного и Среднего Урала с 1976 по 2021 гг. отмечено более раннее наступление, как и в период потепления 1910-1945 гг. на 3 суток, при этом в восточных предгорьях Северного Урала оно наблюдалось на 2 суток раньше по сравнению с западными.

Внутри провинций зачастую 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 тен-

денции развития наблюдается обратная картина. Например, в период потепления с 1910 по 1945 гг. в Косью-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 в зимний и ранневесенний периоды (Минин, Воскова, 2014). В ландшафтных областях продвижение фронта начала цветения черемухи в периоды потеплений и похолодания происходит с различной скоростью. Быстрые темпы выявлены для периодов потеплений, особенно в степных и лесостепных ландшафтных областях – до 150 км/сутки. Таежные ландшафтные провинции Северного Урала в эти периоды характеризуются более медленным прохождением явления с юга на север – до 120 км/сутки. В период похолодания степные ландшафты характеризуются возрастанием скоростей – до 200 км/сутки, а в таежной области Урала процесс максимально замедляется, достигая до 60 км/сутки.

Выводы

В большинстве провинций Урала установлена линейная взаимосвязь между датами начала цветения черемухи с периодами потеплений. Несогласованный 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 XX века. Конфигурация и ход изолиний в большей степени отражает влияние рельефа в периоды потеплений. Фенологическая фаза «начало цветения» черемухи обыкновенной может быть использована в качестве индикатора изменений климата весеннего сезона.

При анализе фенологических закономерностей и механизмов динамики ландшафтов региона при помощи сезонно-динамических карт выявлено влияние на них климатических трансформаций. Соотнесение временных трендов развития феноиндикаторов с вектором изменения как микроклиматических, так и глобальных условий среды на уровне ландшафтных провинций позволит моделировать и прогнозировать реакции вида.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за консультационную помощь: руководителю фенологического центра П.А. Лебедеву (БИН РАН им. В.Л. Комарова), А.А. Минину (ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»), А.А. Чибилеву (Институт степи РАН); за предоставленные материалы: Н.Б. Куянцевой (Ильменский заповедник), И.В. Прокошевой (Вишерский заповедник), Т.К. Тertiце (Печоро-Илычский заповедник), К.А. Возмителю и А.Е. Квашниной (заповедник «Денежкин камень»), И.В. Быстрову (Заповедники Оренбуржья), М.Ш. Барлыбаевой (Южно-Уральский государственный заповедник), Н.Р. Леушиной, Н.А. Зенковой, Е.М. Ульяновой (Государственный заповедник «Басеги»), М.Ю. Федорову; А.В. Хлопотовой (Висимский государственный биосферный заповедник), А.И. Биембетову и М.И. Набиуллину (Башкирский государственный природный заповедник).

Список литературы

Воробьева, Т.А., Котова, Т.В., Слипенчук, М.В., Тикунов, В.С. (2020) Картографирование природопользования: опыт комплексных атласов, *Наука. Инновации. Технологии*, №1, с. 125-140.

Гурьевских, О.Ю. Иванова, Ю.Р. Скок, Н.В. Юровских, А.М. Янцер, О.В. Куянцева, Н.Б. Прокошева, И.В. Тertiца, Т.К. (2021) Тенденции весеннего развития растительности в условиях ландшафтного разнообразия Урала в контексте климатических изменений, *Успехи современного естествознания*, № 5, с. 51-61.

Зайцев, Г.Н. (1984) *Математическая статистика в экспериментальной ботанике*, Москва, Наука, 424 с.

Коновалова, Т.И. (2012) *Самоорганизация геосистем юга Средней Сибири (исследование и картографирование)*, Новосибирск, Академическое изд-во «Гео», 147 с.

Минин, А.А., Воскова, А.В. (2014) Гомеостатические реакции растений на современные изменения климата: пространственно-фенологические аспекты, *Онтогенез*, № 3(45), с. 162-169.

Минин, А.А., Кузнецова, В.В., Голубева, Е.И. (2014) Фенологические явления в системе биоиндикации климатических трендов, *Проблемы региональной экологии*, № 5, с. 66-71.

Минин, А.А., Ранькова, Э.Я., Буйволов, Ю.А., Сапельникова, И.И., Филатова, Т.Д. (2018) Фенологические тренды в природе центральной части Русской равнины в условиях современного потепления, *Жизнь Земли*, т. 40, № 2, с. 162-174.

Прокаев, В.И. (1983) *Физико-географическое районирование: учеб. пособие для студентов пед. ин-тов*, Москва, Просвещение, 176 с.

Хорошев, А.В. (2016) *Полимасштабная организация географического ландшафта*, Москва, Товарищество научных изданий КМК, 416 с.

Шакиров, А.В. (2011) *Физико-географическое районирование Урала*, Екатеринбург, УрО РАН, 617 с.

Янцер, О.В., Скок, Н.В. (2016) Фенологические методы исследований в изучении динамики ландшафтов: общий обзор, *Вестник Башкирского университета*, т. 21, № 1, с. 91-100.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (2014), Москва, Росгидрометр, 1007 с.

Официальный сайт QGIS: [электронный ресурс], URL: <https://qgis.org/ru/site/index.html> (Дата обращения: 30.05.2022).

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

References

Vorobeva, T.A., Kotova, T.V., Slipenchuk, M.V., Tikunov, V.S. (2020) Kartografirovaniye prirodopol'zovaniya: opyt kompleksnyh atlasov [Mapping of nature management: the experience of complex atlases], *Nauka. Innovacii. Tekhnologii*, no. 1, pp. 125-140.

Gur'evskix, O.Yu., Ivanova, Yu.R., Skok, N.V., Yurovskix, A.M., Yancer, O.V., Kuyanceva, N.B., Prokosheva, I.V., Terciza, T.K. (2021) Tendencii vesenego razvitiya rastitel'nosti v usloviyax landshaftnogo raznoobraziya Urala v kontekste klimaticheskix izmenenij [Trends of spring vegetation development in the conditions of landscape diversity of the Urals in the context of climate change], *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*, no. 5, pp. 51-61.

Zajcev, G.N. (1984) *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noj botanike* [Mathematical statistics in experimental botany], Science, Moscow, Russia, 424 p.

Konovalova, T.I. (2012) *Samoorganizaciya geosistem yuga Srednej Sibiri (issledovanie i kartografirovaniye)* [Self-organization of geosystems in the south of Central Siberia (research and mapping)], Academic publishing house "Geo", Novosibirsk, Russia, 147 p.

Minin, A.A., Voskova, A.V. (2014) Gomeostaticheskie reakcii rastenij na sovremennye izmeneniya klimata: prostranstvenno-fenologicheskie aspekty [Homeostatic reactions of plants to modern climate changes: spatial and phenological aspects], *Ontogenez*, no. 3 (45), pp. 162-169.

Minin, A.A., Kuznecova, V.V., Golubeva, E.I. (2014) Fenologicheskie yavleniya v si-steme bioindikacii klimaticheskix trendov [Phenological phenomena in the system of bioindication of climatic trends], *Problemy regional'noj ekologii*, no. 5, pp. 66-71.

Minin, A.A., Ran'kova, E.Ya., Bujvolov, Yu.A., Sapel'nikova, I.I., Filatova, T.D. (2018) Fenologicheskie trendy v prirode central'noj chasti Russkoj ravniny v usloviyah sovremennogo potepleniya [Phenological trends in the nature of the central part of the Russian Plain in the conditions of modern warming], *Zhizn Zemli*, vol. 40, no. 2, pp. 162-174.

Prokaev, V.I. (1983) *Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie: ucheb. posobie dlya studentov ped. in-tov* [Physico-geographical zoning: textbook. allowance for students ped. in-t], Enlightenment, Moscow, Russia, 176 p.

Xoroshev, A.V. (2016) *Polimasshtabnaya organizaciya geograficheskogo landshafta* [Polyscale Organization of the Geographical Landscape], KMK Association of Scientific Publications, Moscow, Russia, 416 p.

Shakirov, A.V. (2011) *Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie Urala* [Physical-geographical zoning of the Urals], Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia, 617 p.

Yancer, O.V., Skok, N.V. (2016) Fenologicheskie metody issledovaniy v izuchenii di-namiki landshaftov: obshchij obzor [Phenological research methods in the study of landscape dynamics: a general overview], *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, vol. 21, no. 1, pp. 91-100.

Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata I ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation] (2014), Roshydrometr, Moscow, Russia, 1007 p.

Oficialnyjsajt QGIS: [elektronnyjresurs], URL: <https://qgis.org/ru/site/index.html> (Data obrashcheniya: 30.05.2022)

Fenologicheskaya set' Russkogo geograficheskogo obshchestva [elektronnyj resurs], URL: <https://fenolog.rgo.ru> (data obrashcheniya: 30.04.2021)

Поступила в редакцию: 05.12.2022.

Доработана после рецензирования: 01.03.2023.

Для цитирования / For citation:

Янцер, О.В., Лаптев, Н.А. (2023) Влияние климатических изменений на сроки начала цветения черемухи обыкновенной на Урале в XX-XXI веке, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXIV, № 1-2, с. 53-65, doi: 10.21513/0207-2564-2023-1-2-53-65.

Yantser, O.V., Laptev, N.A. (2023) The influence of climatic changes on the timing of the beginning changes of flowering of common cherry in the Urals in the XX-XXI century, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXIV, no. 1-2, pp. 53-65, doi: 10.21513/0207-2564-2023-1-2-53-65.