

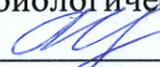
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ  
Кафедра геоэкологии и природопользования

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Заведующий кафедрой

доктор биологических наук, доцент

 А.В. Синдирева

4 июля 2022 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

магистерская диссертация

**ФЕНОИНДИКАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В «ОСТРОВАХ  
ТЕПЛА» АРКТИЧЕСКИХ ГОРОДОВ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА НАДЫМА**

05.04.06 Экология и природопользование

Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнил работу  
студент 2 курса  
очной формы обучения



Ахмаджонов Акбар Олимжон угли

Научный руководитель  
к.г.н., доцент



Жеребятъева Наталья Владимировна

Рецензент  
к.г.н., ст. н. с. лаборатории  
природопользования  
отделения производственной  
инфраструктуры и экологии  
НАЦ рационального  
недропользования им. В.И.  
Шпильмана



Селиванова Дарья Александровна

Тюмень  
2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФЕНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ.....	7
1.1. ФЕНОЛОГИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ИССЛЕДОВАНИИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ.....	7
1.2. МЕТОДИКА ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	15
ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	22
2.1. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	22
2.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	25
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ РАСТЕНИЙ В «ОСТРОВЕ ТЕПЛА» ГОРОДА НАДЫМА .....	29
3.1. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ФЕНОНАБЛЮДЕНИЙ .....	29
3.2. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ РАСТЕНИЙ В «ОСТРОВЕ ТЕПЛА» ГОРОДА НАДЫМА И ЗА ЕГО ПРЕДЕЛАМИ .....	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	42
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	51
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	52
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....	60

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Исследование изменений климатических явлений в настоящее время становится актуальным направлением в современной науке, где весьма важным становится вопрос выявления изменений климатических условий на основе изучения фенологических процессов. В связи с возросшим интересом к проблеме глобального изменения климата исследования в области фенологии получили новый импульс к развитию.

За последние 50 лет в мировом научном сообществе все более актуальным становится признание фенологии как важного аспекта науки в контексте глобальных изменений. Эти изменения начались с моделирования и эмпирических исследований, демонстрирующих, что фенология растений, которая, как известно, чувствительна к изменчивости ежегодных метеорологических условий, также может послужить хорошим индикатором долгосрочных биологических последствий изменения климата для наземных экосистем [30; 38; 39].

В настоящее время климатическая дифференциация и его влияние на условия протекания ландшафтных и фенологических процессов, а также на характер сезонных ритмов и антропогенную деятельность человечества, наиболее ярко проявляются в северных регионах, в том числе и на севере Западно-Сибирской равнины.

Циклические природные процессы и явления, являются хорошими комплексными индикаторами местных ландшафтных условий и ежегодные наблюдения за сезонными процессами позволяют отследить направленность изменений природных условий [50].

«Острова тепла» в арктических городах на локальном уровне отражают те изменения, которые могут происходить с арктическими ландшафтами при повышении среднегодовой температуры, поэтому изучая процессы, происходящие в данных ландшафтах при более высоких среднегодовых

значениях температур, мы можем прогнозировать последствия климатических изменений в Арктике в более глобальных масштабах. Хорошим объектом для таких исследований является «остров тепла» г. Надым, где наблюдения за изменением состояния растительного покрова ведется с 2019 г., но фенологические наблюдения были начаты нами весной 2021 г.

**Цель исследования** - оценить влияние климатических факторов в «островах тепла» арктических городов на изменение сроков и длительности фенологических фаз растений (на примере г. Надыма).

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать теоретические аспекты взаимосвязи изменения климатических условий и фитофенологических процессов в арктической зоне.
2. Рассмотреть методы фитофенологической индикации климатических изменений.
3. Определить взаимосвязи между изменением метеорологических показателей и сроками смены фенологических фаз растений.
4. Провести сравнительный анализ фитофенологических наблюдений в условиях «острова тепла» г. Надыма и за его пределами

**Объект:** средневозрастные, хорошо развитые, здоровые высшие сосудистые растения: деревья и кустарнички в пределах «острова тепла»

**Предмет:** Фенологическое состояние высших растений в «островах тепла»

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Реакции листопадных пород на изменения метеорологического компонента «в островах тепла» проявляются в изменении сроков наступления фенологических фаз в среднем на 3-5 дней позже, чем в фоновых условиях и сокращении вегетационного периода на 6-9 дней.

2. Лиственница сибирская, как одна из наиболее распространённых пород с широкой экологической валентностью и благодаря чувствительности к отрицательным температурам воздуха и почв в весенний и осенний период, в арктической зоне является надёжным индикатором климатических изменений в разных местообитаниях.

**Научная новизна.** На территории г. Надым ранее исследование по фенологии не проводились.

**Методика исследования.** В работе использовались такие методы как анализ, обобщение; статистические методы; эмпирические методы (сравнение, наблюдение); аналитические методы (сопоставление данных эксперимента с литературными данными); полевой метод.

**Практическая значимость.** Работа может быть использована в качестве справочного материала по фенологическим явлениям г. Надым, также может послужить основой для дальнейших исследований.

**Вклад автора:** введение, обзор литературы, характеристика объектов и условий исследования, характеристика методов и условий проведения полевых исследований, анализ и обработка результатов климатических данных и фенологических наблюдений.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 20-55-71004 Арктика\_т «Открытые городские пространства как фактор обеспечения устойчивого развития в Арктике в условиях климатических изменений».

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, библиографического списка, включающего 51 наименований, 5 приложений. Работа изложена на 56 страницах машинописного текста, содержит 1 рисунок, 4 таблиц, 6 графиков.

Автор приносит благодарность Ряховских Марии ученице 7 класса Гимназии г. Надыма и ее научному руководителю Артемьевой Любви

Витальевне, за помощь в проведении фенологических наблюдений весной и осенью 2021 года.

# ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФЕНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ

## 1.1. ФЕНОЛОГИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ИССЛЕДОВАНИИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Международная биологическая программа (ИВР) под фенологией понимает изучение сроков повторяющихся биологических событий, причин их синхронизации с учетом биотических и абиотических сил и взаимосвязи между фазами одного и того же или разных видов” [29].

Определение, которое было дано Международной биологической программой было широко принято и повторяется во всей литературе. Это способствует широкому взгляду на фенологию, в отличие от других определений, оно не ограничивается исключительно событиями жизненного цикла (например, цветением растений, размножением животных) или явлениями, которые можно наблюдать непосредственно [34]. Таким образом, сезонность фотосинтеза в зимне-спящих/летних активных экосистемах также носит фенологический характер, как и годовые циклы других экосистемных процессов [32]. Явным в этом определении является акцент на понимании как взаимосвязи фенологических событий или переходов к воздействию окружающей среды, так и взаимосвязи двух или более фенологических события связанных друг с другом. Несмотря на то, что этому определению уже 40 лет, оно остается прогрессивным и дальновидным, и показывает тесную связь фенологии с системной экологией, биометеорологией, биологией окружающей среды и физиологической экологией. Эта широкая междисциплинарная компетенция закладывает основу для возрождения фенологии десятилетия спустя в качестве важнейшего элемента исследований глобальных изменений [29].

На основе данных, приведенных в докладах Межправительственной группы экспертов по климату, с 1970—х годов наступление весны происходит со скоростью от 2,3 до 5,2 дней за каждые 10 лет. Основываясь на этих данных,

были сделаны предположения о том, что фенология является наиболее простым процессом для отслеживания изменений в экологии видов в ответ на дифференциацию климата [36].

Долгое время наблюдения за фенологическими процессами проводились натуралистами –любителями и эти данные не использовались и не рассматривались в научных исследованиях [31]. Это подтвердили и последующие исследования, включая многочисленные анализы метаданных, [33]. Таким образом, недавние тенденции к потеплению были связаны с более ранним началом весенней вегетационной активности (например, датой распускания листьев или цветения) и общим увеличением продолжительности активного вегетационного периода [26]. Не существует единого мнения о том, как изменения сезонных климатических процессов влияют на фенологию. Однако многими специалистами-исследователями было отмечено, что некоторые биологические и климатологические события происходят позже, например, первые даты осенних заморозков [36].

Эти тенденции наблюдались в различных таксонах растений, включая травы, деревья и кустарники, и аналогичные закономерности были зарегистрированы для амфибий, птиц, рыб и млекопитающих.

Согласно докладу межправительственной группы экспертов по изменению климата [44] данные наблюдений и модельных расчетов показывают, что климат территории России более чувствителен к глобальному потеплению, чем климат многих других регионов земного шара.

Изменение климата может проявляться двумя принципиально разными способами: 1) изменением среднего значения метеопараметров, например, температуры или осадков, 2) изменением их вариативности (т.е. дисперсии и/или распределения). [37].

Для России характерен и тот и другой сценарий. Так за период 1976–2006 гг. среднее потепление климата на территории России достигло 1,33 °С. Наблюдаются значительные межгодовые колебания средней температуры

приземного слоя воздуха. Годовая сумма осадков за это время в целом по территории России увеличивалась на более чем 7мм за 10 лет. Но, несмотря на это, в характере региональных изменений осадков наблюдались достаточные разграничения. В Западной Сибири наиболее заметным было увеличение осадков за весенний период на 16мм за 10 лет [44].

По результатам спутниковых снимков площадь снежного покрова в Северном полушарии за последние 30 лет значительно сократилась, особенно это уменьшение отчетливо проявилось в весенне-летнем периоде, что связывают с повышением температуры приземного слоя воздуха. Однако в некоторых регионах с очень низкой среднегодовой температурой наблюдалось увеличение количества осадков, особенно в зимний период. Повышение температуры приземных слоев атмосферы, и увеличение высоты снежного покрова в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири привело к росту температуры верхнего слоя многолетнемерзлых пород на 1 °С, а в отдельных регионах к увеличению глубины сезонного мерзлого слоя. [44].

Широтная географическая зональность предопределяет, что разнообразие арктических растений чувствительно к климату. Количество видов сосудистых растений на полуострове Таймыр сокращается в пять раз с юга на север. Летние температурные градиенты являются переменной окружающей среды, которая наилучшим образом предсказывает разнообразие растений в Арктике. Однако нужно учесть и другие факторы: регионы на разных широтах, которые имеют одинаковую максимальную месячную температуру, часто отличаются разнообразием. Показатели биоразнообразия Таймыра являются промежуточными между более высокими значениями на Чукотке и Аляске, где более сложный рельеф, геология и флористическая история. Полуостров Ямал отличается малым видовым биоразнообразием, по сравнению с арктической частью Канады, из-за широкого распространения песчаных почв и, возможно, их молодого возраста [47].

*В последние десятилетия Сибирь претерпела ощутимые климатические изменения из-за глобального потепления. Эти изменения,*

*несомненно, сказались на растительных сообществах. В районах с резко континентальным климатом, например, в Республике Саха, наблюдается смещение первых осенних заморозков с августа на сентябрь. Период положительных температур увеличился в среднем на три дня. Смещение температуры начала зимних периодов, похолодание летнего периода, а также смещение сроков наступления первых осенних заморозков на более поздний период, приводят к изменению фенологических ритмов растений: вторичное цветение шиповника, брусники, голубики, более длительное цветение одуванчика, тысячелистника, сохранение листвы у деревьев и кустарников при выходе на зимний покой. Такие явления приводят к ослаблению популяции флористических сообществ, поскольку к началу периода «нормальной» вегетации, следующей весной, растения окажутся угнетенными [16].*

Сроки фенологических событий варьируют вдоль значений географических градиентов, в зависимости от типа растительности, межгодовой изменчивости в начале и в конце вегетационного периода. Все это определяет, как экосистемы структурированы и как они функционируют [22]. Например, от фенологического ритма зависит приспособленность и репродуктивный успех как растительных сообществ, так и животных [21]. Кроме того, в масштабах от органов до экосистем многие процессы, особенно связанные с круговоротом углерода (продуктивность и рост), воды (испарение и сток) и питательных веществ (разложение и минерализация), напрямую опосредованы фенологическими процессами, и их сезонность можно отнести к косвенно фенологическим [32]. Кроме того, чувствительность фенологии к изменению климата имеет отчетливые последствия для управления земельными ресурсами (сельское хозяйство, лесное хозяйство, инвазивные растения и вредители), на здоровье человека (перенос аллергенов и переносчиков болезней), а также для многочисленных экосистемных услуг [37], от которых зависит общество.

В настоящее время точные физиологические механизмы и взаимодействия, которые контролируют потсвегетативный процесс (начало листопада у лиственных деревьев), все еще неизвестны для большинства видов растений, но уже понятно, что развитие листьев чрезвычайно чувствительно к температуре [27]. Такая тесная связь с температурой приводит к тому, что каждый год наблюдается смещение сроков наступления весеннего периода. Различия в реакциях на регулирующие механизмы объясняют различия во времени выхода листьев у разных видов [28]. Не исключено и ожидание межгодовых колебаний при антропогенном воздействии на изменение климата, которая может привести к значительным изменениям наступления сроков весенних фаз природы по всему миру, следствие которых невозможно объяснить исключительно обычными ежегодными колебаниями [24]. Этот сдвиг в сроках распускания листьев обусловлен главенствующей ролью температуры в вегетативном развитии, что делает растения очень чувствительными к изменениям климата и отличным индикатором таких изменений. Мониторинг фенологии растений, особенно времени цветения, является популярным подходом для изучения биологических последствий недавнего изменения климата [30].

В основе фенологического развития растительных организмов лежит наследственно закрепленная ритмичность и периодичность протекания физиологических процессов, которые определяются как биологические или физиологические часы. Однако именно сезонные изменения внешних условий среды заставляют растения приспосабливаться через изменение периодичности наступления фенофаз, и продолжительности фенологических циклов. При воздействии сезонных изменений метеорологических условий у растений резко проявляется изменения ростовых процессов. Поэтому фенологическое развитие растений можно понимать, как их сезонное развитие [6].

Мониторинг фенологических процессов позволяют отслеживать изменения фитокомпонентов, развитие которых характеризует климатические условия и индицирует сезонные изменения всего геокомплекса. Растения – самый наглядный индикатор изменения природной среды, что является немаловажным в условиях изменения климата [19]. Реакция растений на изменения климатических показателей приводит к изменению наступления сроков активности флоры и, в целом, ведет к изменению феноритмов природных комплексов различных рангов. Многие фенологические явления могут быть чересчур чувствительны даже к почти незначительным изменениям температуры [18]. Исследования в области фенологии могут стать хорошей заменой температурных показателей в исторической климатологии, особенно в изучении изменения климата [52].

Множественные тренды сроков наступления фенологических явлений отражают вариации климата и служат важными индикаторами происходящих в природе изменений. Именно поэтому в последние годы значительно увеличилось внимание к рядам долговременных фенологических наблюдений как к источнику информации о направленности и межгодовой изменчивости состояния популяций. В Европе активно идут процессы интеграции национальных фенологических сетей, унификации методик наблюдений и анализа данных многолетних фенологических рядов [25]. Это дает возможность получать оценки изменения фенологических показателей широкого географического охвата.

Исследование климатических изменений должно основываться на анализе фактической информации многолетних рядов метеорологических показателей и данных фенологических наблюдений. Поэтому в настоящее время достаточно остро стал вопрос грамотного хранения и представления информации, особенно это касается огромных массивов фенологических данных [45]. Создание международных фенологических сетей способствовало

коллективным усилиям по крупномасштабному и стандартизированному сбору и обмену фенологическими сведениями [20].

С другой стороны, для России существует острая необходимость в сборе и хранении уже имеющихся и будущих наборов информации по фенологическим исследованиям. Благодаря цифровизации и развитию технологий, фенологические записи в настоящее время хранятся в архиве фенологического отдела Русского географического общества, где можно найти данные, сделанные непосредственно независимыми исследователями, натуралистами-любителями, а также всеми добровольными участниками фенологических проектов. Проект «Фенологическая сеть» созданный РГО, имеет цель привлечь простых заинтересованных граждан (в рамках гражданской науки) к наблюдениям за фенологическими изменениями на территории всей страны [48].

В настоящее время разрабатываются и применяются основные и второстепенные фенологические индексы для изучения особенностей фенологии природных экосистем различных уровней, тенденций в сроках наступления фенологических событий из-за изменяющегося климата, а также изучении фенологии отдельных географических видов и категорий, являющиеся индикатором пространственной фенологии [16]. Большие перспективы многие фенологи видят в фенологическом картографировании с применением современных систем дистанционного зондирования Земли. Это позволит разрабатывать и внедрять современные теоретические и методологические подходы к комплексной организации и проведению фенологических исследований, а также к обработке и представлению полученных данных в расчетном виде.

*Фенологическое дистанционное зондирование широко развито за рубежом, в последние годы, все чаще и отечественные ученые используют этот метод ГИС-технологий, позволяющий использовать спутники для отслеживания фенологических явлений в реальном времени, и дополняющий*

*системы наблюдений на земной поверхности [35]. Быстрый прогресс в технологии дистанционного зондирования значительно расширили сферу фенологических исследований [40], значительно улучшив понимание фенологии растительности от локального до глобального уровня. Широкое использование спутниковых данных дало толчок для появления и развития макромасштабной фенологии, что крайне важно с учетом текущих глобальных изменений.*

*Достоинством дистанционного метода является также масштаб наблюдений. Используемые спутниковые датчики для мониторинга фенологических событий захватывают обширные участки территории на поверхности Земли и собирают данные о целых экосистемах или регионах, а не об отдельных видах, что позволяет надежно объективно выявить широкомасштабные фенологические тенденции, которые было бы трудно, если не невозможно, обнаружить с Земли. Фенологические данные дистанционного зондирования полезны для оценки состояния сельскохозяйственных культур, степени засухи и риска лесных пожаров, а также для отслеживания инвазивных видов, инфекционных заболеваний и насекомых-вредителей. Из-за того, что фенологические события чувствительны к изменению климата, эти данные также представляют собой мощный инструмент для документирования фенологических тенденций с течением времени и выявления воздействия изменения климата на экосистемы в различных масштабах [35].*

*Эти быстрые изменения в более крупных масштабах могут быть предвестником явлений, которые произойдут в более низких широтах, и потенциально могут повлиять на экосистемные услуги, связанные с природными ресурсами, производством продовольствия, регулированием климата [23].*

*Использование ГИС технологий и различные эксперименты позволили по-новому взглянуть на механистическое понимание фенологических*

*процессов [22]; а новые модели, основанные на изученных процессах, в значительной степени улучшили возможности построения прогнозов фенологических изменений в различных климатических и антропогенных сценариях.*

## 1.2. МЕТОДИКА ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Фенологические наблюдения над абиотическими сезонными явлениями ведутся по принятой в руководствах для метеорологических и гидрологических наблюдений методике. Наиболее важным, с точки зрения эффективности, является методика фенологических наблюдений над теми изменениями в состоянии флоры и фауны, которые служат индикаторами границ естественных сезонов и субсезонов. Целью данного метода является максимально возможная сопоставимость схожих фенологических наблюдений, проводимых одними и теми же наблюдателями в разные сезоны годы и разными наблюдателями на фенологических площадках [14].

Фундаментом фенологических методов является задача специфичным способом охарактеризовать более сложное явление. Это сложное явление, которое необходимо охарактеризовать, В. А. Батманов называл устанавливаемым, а то, с помощью чего это делается, - **феноуказателем** [12].

Разработкой теории отдельных методов фенологических исследований, их анализом, моделированием решений фенологических целей и задач, систематика феноуказателей и др. занимается теоретическая фенология. [52]. Фенологическое наблюдение включает три составных элемента: **место, время и фенологическое состояние объекта**. Фенологическое состояние может интерпретироваться временным показателем, указывающим момент сезонного развития объекта, (например, начало, середина, окончание процесса) и вещественным показателем, характеризующим то, во что объект реализуется в процессе своего развития. Например, массовость процесса (обилие цветков, плодов, или их единичность и т.п.) [51].

В зависимости от целей исследования процессе наблюдения значение какого-то одного элемента определяется в этом случае он становится устанавливаемым элементом, а значения других задаются заранее. В зависимости от того, значение какого элемента или показателя элемента определяется, фенологические методы В.А. Батманов [17] предложил разделить на четыре группы, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Соотношение определяемых и заданных элементов по группам методов  
[по В.А. Батманову, 1972]

Группа методов	Элементы фенологических наблюдений			
	Время	Место	Временной показатель	Вещественный показатель
Регистраторов срока	*	+		+
Описательной группы	+	+	*	
Индикаторов урожайности	+	+		*
Экометрические	+	*		+

+ - заданный элемент; \* - определяемый элемент

По форме отчета методы делятся на два класса: первичные и интегральные.

Первичные методы:

- регистрируют значение определяемого элемента без указания меры его типичности;
- дают качественную оценку;
- результаты слабо поддаются математической обработке

Интегральные методы:

- за счет увеличения числа отчетов при наблюдении, точно оценивают величину размаха значений определяемого элемента;
- дают результат определенной и желаемой точности;

- результаты более точные, хорошо поддаются математической обработке
- Результаты многочисленных проведенных фенологических наблюдений, в независимости от использованных методик, всегда сопровождаются ошибками наблюдений:

1. Ошибки, зависящие от точности определяемого элемента. Например, время начала фазы набухания почек у разных деревьев, даже относящихся к одному виду и находящихся на одном местообитании может различаться, тогда возникает задача предопределить, что фиксировать при наблюдениях: любое даже минимальное или только массовое проявление данного события. Таким образом величина ошибки перед наблюдением может быть заранее сведена самим наблюдателем до минимума. При этом сами ошибки этой категории в процессе проведения наблюдения не изменяются.

2. Ошибки, связанные с нахождением определяемого элемента. Такая категория ошибок являются наиболее часто встречающейся и, в какой-то степени специфичной для каждой группы существующих методов, поскольку эти группы имеют свой определяемый элемент. Величину вероятного отклонения значения каждого элемента можно нивелировать для каждой группы фенологических методов интегральными и инструментальными способами.

Различают несколько методов фенологических наблюдений.

*Первичный (классический) метод группы регистраторов срока.* Данный метод на протяжении длительного времени среди исследователей был единственным и не имел аналогов, и, опираясь на это, данный метод можно назвать обычным или классическим для фенологических наблюдений. Такой метод достаточно простой в использовании. Основой метода является определение параметров элемента времени в ходе наблюдения при заранее указанных двух других (места и фенологического состояния) [15]. Исследователь фиксирует момент наступления данного явления в данном месте. Наблюдатель при каждом посещении феноплощадки должен записывать первую дату, когда еще фенологическое явление не началось. В

записи обозначается буквой  $a$ , и вторую дату, когда это явление было отмечено наблюдателем при первичном посещении участка и в записи отмечаться буквой  $b$ . При этом, день наступления искомого явления будет находиться в промежутке  $ab$ . В Записях будет обозначаться буквой  $M$ .

При отсутствии данных о развитии объекта в интервале  $ab$ , мы теоретически выявляем, что вероятность наступления требуемой даты в любой точке промежутка  $ab$  величина постоянная, т. е. вероятностное распределение дат наступления феноявления между этими величинами будет равномерным. Тогда по закономерностям равномерного распределения наиболее вероятная дата наступления явления  $M$  будет лежать в центре интервала  $ab$  и определяться по формуле:

$$M = \frac{a+b}{2}$$

средняя ошибка вычисленной таким образом даты выводится по формуле:

$$m = \frac{\sqrt{(b-a)^2}}{12}$$

Точность наблюдения будет зависеть от величины промежутка  $ab$ , иными словами, от величины посещения феноплощадки. Выявленную ошибку наблюдения при таких действиях гипотетически можно искоренить. Для этого необходимо наблюдателю постоянно находиться у исследуемого объекта. Но на практике, в силу разных причин, сделать это будет невозможным.

Правило полного отчета, т. е. запись двух дат наступления феноявления, была определено В. А. Батмановым в 1958 г. Но, к сожалению, в то время и в по сей день, в огромных архивах данных добровольных фенологических сетей правило двойной записи не применялась: первая дата не записывалась, срок наступления явления приравнивался со второй датой. Результаты наблюдений не могли быть успешными, т.к. точность их оставалась неизвестной. При этом, для всех фенологических исследований, в котором пользуются обычным методом без руководства правила двух дат, будет характерной особенностью сдвиг отметок феноявлений к более поздним датам, нежели с искомыми явлениями.

Для выявления средних сроков сроки наступления и последовательности сезонных явлений в нужной территории достаточно трехлетнего периода наблюдений. Чем чаще и дольше будут проводиться наблюдения обычным методом, тем надежнее будут выводимые из них даты. Имея данные с календаря своего участка, можно оценить фенологические особенности текущего года. Отклонения сроков наступления сезонных явлений конкретного года от средних многолетних дат, выраженные в сутках, называются *феноаномалиями*. Наблюдение за изменением феноаномалий с ходом сезона создает основу для фенологического прогнозирования. Составление календарей природы — одна из наиболее известных и распространенных форм ведения фенологических наблюдений, необходимая для сопоставления данных из календаря, полученных с разных географических точек, затем, с помощью которого составляются программы наблюдений.

Проводя наблюдения описательным первичным методом, у наблюдателей появляется возможность познакомиться с разнообразием объектов и их фенологических состояний и этим самым, создавая базу для овладения более сложными и точными фенологическими методами.

Подводя итог, можно сказать, что обычный метод фенологических наблюдений достаточно прост в применении, легко доступен, на основе данных такого метода накапливаются сведения для построения календаря природы. Точность проведенного наблюдения будет выше только при частом непосредственном посещении феноплощадок, за которыми проводятся наблюдения. Чем чаще наблюдатель будет осматривать закреплённые за собой участки и делать записи в бланках наблюдений, тем вероятнее будет срок наступления того или иного феноявления

Первичный описательный метод отличается тем, что фенологическое состояние наблюдаемого объекта характеризуется без каких-либо учетов. Чем больше и обширнее будет сделано описание, тем большую точность будет иметь это наблюдение. Объектом исследования при работе описательным

первичным методом может быть учетная единица или ее определенное количество. Результатом наблюдений должно стать единичное значение показателя феносостояния как для одной единицы, так и для ее множества [15].

На сегодняшний момент в научно-исследовательских работах рекомендовано применить сбор максимально короткой информации о фенологических данных по большей численности объектов. Для экономии времени во время полевых исследований, применяют символические или буквенные обозначения фенологического состояния. Наблюдатель на свое усмотрение специальными символами может обозначать определенное феносостояние [9].

В конце 60-х годов 20 века В.А. Батманов, на основе своих исследований предложил *метод комплексных фенологических характеристик*, которая относится к группе описательных методов. В процессе наблюдения, используя этот метод на территории геокомплекса в пределах учетной феноплощадки, можно охарактеризовать фенологическое состояние каждого вида оценочным путем его учетных единиц согласно феностандартам. Характеризуемой единицей вида является особь, или то, что может заменить ее при наблюдении: что-то разделяемое, обособленное, вбирающая в себя все признаки вида, при этом свободно наблюдаемое. Таким примером служит плод у малины. Даже при наличии у наблюдаемой единицы одного или нескольких цветков, не вызовет трудностей для определения феносостояния этой единицы. Если на учетной феноплощадке у наблюдаемых единиц имеются множество цветков, то вступление этих видов в очередную фазу можно засчитывать при появлении 25% первичных признаков следом наступающей фазы. При окончании установления фенологического состояния других учетных единиц можно приступить к выявлению всего фенологического состояния вида. В процессе наблюдения рассматриваемые единицы одного вида частую находятся в разных фенофазах, но несмотря на это достаточно лишь выделить самую выделяющуюся фенофазу, характерную для всего вида [10]. Но несмотря на это, сезонное развитие каждого вида растений выделяется своей

индивидуальностью и зачастую плохо попадет в установленные рамки феностандарта. При этом, отдельные фенофазы некоторых видов могут быть скрыты, что может вызвать некие трудности для наблюдателя.

Процесс вступления учетных единиц вида в фенологическую фазу подчинен закону нормального распределения и характеризуется кумулятивной кривой, интерквартильный порог которой составляет от 25 до 75% и является наиболее информативной частью [13].

Таким образом метод комплексных фенологических характеристик является одним из наиболее доступных и позволяющих получить максимально достоверную информацию о фенологическом состоянии каждой ценопопуляции, а не отдельного растения.

## ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в городе Надым и его окрестностях. Этот город располагается на левобережье реки Надым, в Ямало-Ненецком автономном округе. Территория исследования приурочена к Надымской низменности Западно-Сибирской низменной равнины, и согласно физико-географическому районированию Ямало-Ненецкого автономного округа относится к Северонадымскому долинному району Надымской ландшафтной провинции Обь-Тазовской ландшафтной подобласти Урало-Енисейской северотаежной области [54].

Город распложен в пределах первой надпойменной озерно-аллювиальной террасы реки Надым, которая характеризуется увалисто-холмистый рельефом с абсолютными отметками 50-100 м над уровнем моря. Для долинного комплекса реки Надым характерно сильное линейное расчленение долинами, ложбинами, оврагами. Поверхность террас в окрестностях Надыма сложена мелкими и пылеватыми песками, на слабозакрепленных растительностью участках подвергающихся интенсивной дефляции с образованием эоловых форм рельефа – дюн, воронок, котловин и площадок выдувания [54].

Климат в Надыме континентальный с суровой продолжительной зимой (средняя температура января  $-25-30^{\circ}\text{C}$ ), длящаяся около 32 недель и коротким умеренно теплым летом. В июле средняя температура достигает  $15-20^{\circ}\text{C}$ , также для данной местности характерны поздневесенние и ранне-осенние заморозки. Среднегодовая температура воздуха составляет  $-6,6^{\circ}\text{C}$ . Формирование климата этого района происходит под влиянием западной циркуляции воздушных масс, влияния Карского моря. Здесь наблюдается быстрая смена циклонов и антициклонов, что способствует большой переменчивости погоды [54].

Важнейшим климатообразующим фактором, в том числе, влияющем на проявление фенологических ритмов, является количество поступающей солнечной радиации, которая является основным источником тепловой энергии всех природных процессов. Значение годовой суммарной солнечной радиации составляет  $3200 \text{ МДж/м}^2$ , в том числе  $1450 \text{ МДж/м}^2$  - прямой радиации при общем увеличении с севера на юг. Главной характеристикой радиационного режима служит продолжительность солнечного сияния, которая зависит от наличия облаков и прозрачности атмосферы. Для Надыма годовая продолжительность солнечного сияния составляет 1550 часов с максимальными значениями июле-августе. В летнее время максимальная продолжительность светового дня составляет 22 часа, минимальная (в декабре) около 2 часа 40 минут. В годовом ходе поступления суммарной радиации наименьшие ее значения наблюдаются в зимние месяцы, наибольшие – в летние [54].

Неравномерное поступление солнечной радиации в течение года, особенности атмосферной циркуляции, близость холодного Карского моря и открытость территории с севера на юг объясняют суровость теплового режима и резкий переход от холода к теплу. В среднесуточная температура между соседними сутками может меняться в летнее время на  $2-3^{\circ}\text{C}$ , в зимнее на  $4^{\circ}\text{C}$  и более. Амплитуды средних месячных температур составляют  $37-42^{\circ}\text{C}$ .

Температура поверхности почвы близка к температуре воздуха по своим значениям. Среднегодовая температура на поверхности почвы изменяется от  $10^{\circ}\text{C}$  до  $-5^{\circ}\text{C}$ . В зимние месяцы поверхность почвы чуть холоднее воздуха, в летние месяцы на  $1-2^{\circ}\text{C}$  теплее. Максимум температуры поверхности почвы отмечается в июле, где температура может достигать  $25^{\circ}\text{C}$ . Средняя минимальная температура характеризует температуру поверхности почвы в ночное время и изменяется от  $-12$  до  $-16^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный минимум температуры на поверхности почвы отмечается в феврале и может достигать  $-50^{\circ}\text{C}$ . Окончание заморозков на поверхности почвы обычно наступает позже, но возобновляются раньше, чем в воздухе [54].

По почвенно-географическому районированию территория г. Надым относится к Нижнеобской провинции болотных мерзлотных почв и подзолов зоны глееподзолистых и подзолистых иллювиально-гумусовых почв северной тайги. Почвенный покров характеризуется сочетанием таежных мерзлотных (криоземы) и таежных глее-мерзлотных (криоземы глеевые) почв. Первые формируются под редкостойной лиственничной угнетенной таежной растительностью на многолетнемерзлых, преимущественно суглинистых породах, вторые развиваются в плакорных условиях на плоских элементах рельефа на тяжелых по гранулометрическому составу почвообразующих породах [54].

Растительный покров характеризуется хорошо выраженной географической зональностью. На плакорных поверхностях распространены редкостойные лиственнично-березовые, местами с елью и кедром лишайниковые и зеленомошно-лишайниковые леса. Основными лесообразующими породами являются лиственница сибирская, береза повислая, сосна сибирская, реже сосна обыкновенная. Из кустарников обычны можжевельник, ивы. Под пологом редкостойных лесов господствуют лишайники и зеленые мхи с метами обильным участием кустарничков: брусники, толокнянки, водяники и др.

Пойменная растительность представлена динамическими рядами, особенности видового состава которых зависят от продолжительности затопления на разных экологических уровнях поймы [54].

В городских условиях происходит трансформация части фоновых абиотических условий, что оказывает влияние и на живые организмы. Благоустройство городской среды, предусматривающее реализацию мероприятий по озеленению в том числе видами-интродуцентами, интенсивная рекреационная нагрузка способствует изменению биоразнообразия городских парков и трансформации видового состава растительности даже в сохранившихся участках лесных экосистем (таких как парк им. Е.Ф. Козлова в центре города).

## 2.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

В нашей исследовательской работе были использованы методики, основывающиеся на канонических положениях в области фенологии, которые изложены в научных исследованиях Т.И. Буториной, Ю.И. Гордеева, А.А. Минина, В.Г. Федотовой, И.Н. Бейдемана, О.В. Янцер, Е.Ю. Терентьевой, Г.Э. Шульца и др.

Для выявления особенностей фенологических процессов в условиях изменения климата, был проведен сбор, обработка и анализ метеорологической и фенологической информации на исследуемой территории.

Источниками фенологических сведений послужили собственные исследования, проведенные при полевых выездах за 2021 год. Многолетние ряды метеоданных были получены с метеостанции DAVIS, расположенный возле аэропорта г. Надым и в парке им. Е.Ф. Козлова. С помощью математических методов обработать числовые параметры метеорологических данных и выводить их среднесуточные, среднемесячные, среднегодовые, значения, минимальная и максимальная температура воздуха и почвы ( $^{\circ}\text{C}$ ), сумма температур  $> 0^{\circ}\text{C}$ , сумма температур  $> +5^{\circ}\text{C}$ , сумма температур  $> +10^{\circ}\text{C}$ . Математические расчеты позволяют обработать числовые параметры метеорологических данных и выводить их среднесуточные, среднемесячные, среднегодовые, а также за многолетний период значения. Благодаря такому способу, можно сравнить данные между собой и использовать для дальнейшего обоснования их в виде статистического материала.

Сравнительно географический метод использовался для выявления общих закономерностей и специфики изменения фенологических процессов в городах и за их пределами других районах.

Результаты наблюдений в виде разнообразных качественных или количественных данных зафиксированы в виде таблиц, матриц, графиков и буквенных символов, которые служат материалом для выявления

эмпирических закономерностей с помощью сравнительного, исторического, математических и логических методов [5].

Проведение фенологических наблюдений осуществлялось следующими этапами:

1. *Выбор объекта и места наблюдения.* Для сбора необходимых фенологических данных были выбраны 3 пробные площадки (рис 1).



Условные обозначения



Рис 1. Схема расположения участков исследования  
[выполнено автором]

Данные территории характеризуются редколесными растительными сообществами, которые представлены кедрово-березово-лиственничными сообществами.

После выбора феноплощадки, и экземпляров каждого вида в отношении которых проводились наблюдения, выполнялось описание этой площадки и отмечались характеристики и отличительные черты от других феноплощадок с указанием географических систем координат.

Объектами наблюдений послужили средневозрастные, хорошо развитые, здоровые высшие сосудистые растения: деревья (береза повислая, лиственница сибирская), кустарнички (брусника) в пределах исследуемых участков. Эти растения были выбраны как виды, встречающиеся с достаточно высоким постоянством на всех трех выбранных участках. Береза повислая и лиственница сибирская также имеют обширный ареал как в широтном, так и в меридиональном направлении, характеризуются высокой экологической валентностью и по березе накоплен большой фактический материал по фенологическим процессам в разных природных зонах и разных условиях, что позволяет проводить сравнительный анализ фенологической реакции этого вида к меняющимся условиям среды [2].

2. *Установление сроков наблюдения.* Фенологические наблюдения приводились каждые 10-14 дней по единой согласованной программе в отношении одних и тех же растений. Данные фенологических наблюдений фиксировались в специальных бланках и включали данные, как по вегетационным, так и по генеративным фазам (приложение 1). Все растения в отношении которых осуществлялся мониторинг фотографировались, для подтверждения и более точного определения фенологического состояния в камеральных условиях.

3. *Определение зависимости развития растений от среды их обитания.* Для каждого выбранного для фенонаблюдений участка для выбранных видов растений вычислялись сроки начала фенологических событий в соответствии с методикой, описанной Янцер О.В. [52]. Данные по срокам наступления и окончания фенособытий у растений одного вида, но с разных фенологических площадок сопоставлялись между собой с целью обнаружения наличия/отсутствия сдвигов в фенологических ритмах в

зависимости от местообитания. Далее данные по фенологическим сменам сопоставлялись с данными температурного режима воздуха и почв в соответствующих местообитаниях. Для растений в парке Е.Ф. Козлова сравнения проводились по данным метеостанции, расположенной в музее природы (на северной границе парка), а для феноплощадок в районе профилактория и в Кедровой роще – по данным метеостанции в районе аэропорта города Надым.

## ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ РАСТЕНИЙ В «ОСТРОВЕ ТЕПЛА» ГОРОДА НАДЫМА

### 3.1. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ФЕНОНАБЛЮДЕНИЙ

В качестве объектов фенологических наблюдений для индикации климатических изменений в «острове тепла» города Надым были выбраны две древесные листопадные породы береза повислая и лиственница сибирская и один вид кустарничков из семейства вересковых – брусника обыкновенная.

Береза повислая (*Betula pendula* Roth.) (рис.2) Это быстрорастущий, морозостойкий вид, нетребовательный к почве, очень светолюбивый и засухоустойчивый. Всхожесть семян высокая, благодаря чему береза хорошо распространяется на территориях с сильным антропогенным воздействием, устойчива к атмосферному загрязнению.



Рис. 2. Участок с доминированием березы в парке им. Е.Ф. Козлова  
[фото Жеребятъевой Н.В.]

Березы широко распространены по всему Северному полушарию, произрастают в широком зональном диапазоне – от тундры до степей, с минимальной производительностью в крайних природных зонах и максимальной – в подзонах южной тайги и лесостепи [43]. Поэтому является очень хорошим объектом для исследования и моделирования фенологических процессов в различных условиях. На выбранных фенологических площадках как правило выступает как сопутствующая порода, получая небольшое преимущество на нарушенных участках и только на некоторых наиболее измененных участках парка им. Е.Ф. Козлова выходит на доминирующие позиции.

Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) единственное хвойное дерево, которое сбрасывает хвою на зиму (рис. 3). Эта особенность является важным приспособлением к континентальному климату, сильно снижая испарение дерева в наиболее трудный для него ранневесенний период. Ежегодное возобновление хвои повышает устойчивость лиственниц к лесным пожарам и поражению вредителями.



Рис. 3. Лиственница сибирская в парке им. Е.Ф. Козлова [фото автора]

Лиственница характеризуется широкой экологической валентностью по отношению к почвенному питанию и температурам, устойчива к весенним заморозкам, очень устойчива к низким зимним температурам, нетребовательна к тепловому режиму вегетационного периода. Ее ареал один из самых обширных среди древесных пород Евразии, простираясь от Полярного круга до степей. В районе исследования лиственница является главной лесообразующей породой, абсолютно доминирует и в парке им. Е.Ф. Козлова и на фоновой площадке в районе профилактория, исключение составляет Кедровая роща, где лиственница наряду с березой встречается только примеси во втором ярусе.

Сроки распускания хвои лиственниц определяются протаиванием корнеобитаемого слоя почвы. Поэтому в Сибири хвоя лиственниц распускается поздно и у взрослых деревьев не страдает от низких температур. Исходя из этого высока вероятность более позднего начала вегетационного развития у лиственницы за пределами города, где таяние снега происходит позже, чем в городской черте. Этим объясняется выбор лиственницы в качестве одного из объектов наблюдения.

Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) является важным составляющим компонентом травяно-кустарничкового яруса таежных сообществ. На хорошо прогретых и достаточно увлажненных местообитаниях брусника может занимать доминирующие позиции в травяно-кустарничковом ярусе (Рис.4).

Не смотря на свое широкое распространение и довольно высокую толерантность к различным ценоотическим условиям, брусника очень чувствительна к сменам температуры и особенно в весенний период и период, предшествующий активной вегетации.



Рис. 4 Доминирование брусники обыкновенной в травяно-кустарничковом ярусе на одном из участков в парке им. Е.Ф. Козлова [фото автора]

Кроме того, брусника обнаруживает высокую чувствительность к условиям увлажнения. Но в отличие от листопадных пород, брусника, как зимнезеленое растение, реагирует на изменение выше перечисленных метеопоказателей сдвигами и изменением характера протекания генеративных фаз, в то время как вегетативные изменения в ряде случаев довольно трудно отследить.

### 3.2. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ РАСТЕНИЙ В «ОСТРОВЕ ТЕПЛА» ГОРОДА НАДЫМА И ЗА ЕГО ПРЕДЕЛАМИ

Сезонные различия в природе определяются годовым ходом климатических условий, оказывающих воздействие на различные компоненты окружающей природной среды, в частности на ход растений.

Смена термического режима играет наиболее важную роль в этих процессах. Температура воздуха рассматривается как важнейший составной

элемент климата, наглядно показывающая взаимодействие всех частей формирования климата: солнечной радиации, атмосферной циркуляции и подстилающей поверхности, и вследствие этого характеризуется ярко выраженной сезонной ритмичностью [3; 4].

В ходе исследований нами получены основные климатические данные с автоматической метеостанции DAVIS для парка Е.Ф.Козлова и с метеостанции аэропорт г. Надым для Кедровой рощи и профилактория. Были проанализированы основные метеорологические показатели – термические режимы воздуха и почв, затем на основе этих показателей произведены расчеты: среднесуточных температур, по формуле:

$$\sum t_n / n, \text{ где } n - \text{ кол-во измерений наружного термометра}$$

Были подсчитаны среднемесячные температуры за 2021г по 3 участкам по следующей формуле:

$$(\sum \text{ср сут} \cdot n) / n, \text{ где } n - \text{ число дней в месяце.}$$

В результате этих вычислений выстроили следующую таблицу:

Таблица 2

Среднемесячные температуры в парке Козлова и в окрестностях города

Надыма [составлена автором]

	Парк Козлова	Окрестности города	разница температур
январь	-29,8	-30,4	0,6
февраль	-28,01	-29,2	1,19
март	-16,08	-16,6	0,52
апрель	-0,99	-1,06	0,07
май	6,1	5,95	0,15
июнь	10,87	10,81	0,06
июль	13,97	13,85	0,12
август	15,43	15,1	0,33
сентябрь	6,21	6,01	0,2
октябрь	-0,45	-0,34	-0,11
ноябрь	-14,33	-14,84	0,51
декабрь	-22,34	-23,54	1,2
Ср. годовая температура	-4,95	-5,355	0,40

Как видно из таблицы, средняя годовая температура за 2021 в парке Козлова составила  $-4,9^{\circ}$ , а в окрестностях города  $-5,3^{\circ}$ . Наиболее ощутимая

разница температур приходится на летний и осенне-зимний период. За 2021 год температурная разница между парком и окрестностями города составила в среднем  $0,4^{\circ}\text{C}$

На территории города Надым ход наступления фенологических фаз значительно отличается от других исследуемых территорий. Здесь в большей степени влияние на фенологические явления оказывает урбанизированная среда.

В ходе исследований были определены и заполнены в бланки сроки наступления фенологических фаз (ПРИЛОЖЕНИЕ 1). Для буквенного обозначения фенологических фаз вегетативного и генеративного цикла развития растений использовали феностандарт (ПРИЛОЖЕНИЕ 2), составленный по инструкции В.А. Батманова. Путем математических расчетов были выявлены наиболее вероятные сроки наступления фенофаз выбранных видов растений (ПРИЛОЖЕНИЕ 3).

Как видно из таблицы, расчеты средних ошибок сроков наступления фенофаз составило 3-5 дней. Эти данные можно будет сравнить при последующих фенологических наблюдениях. Чем чаще будет проводиться фенологические наблюдения, тем выше будет точность вычислений и вероятность наступления сроков фенофаз. На основании полученных данных были построены сравнительные диаграммы фенологических смен для березы, лиственницы и брусники в трех выбранных местообитаниях (рис. 6-8).

Из графиков видно, что намечаются сдвиги фенофаз, например, в парке Козлова у березы повислой и лиственницы сибирской относительно этих видов на других территориях раньше наступают сроки весенних фенофаз. Такое различие отчетливо наблюдается в фазе набухания и проклевывания почек. В целом сроки весене-летних фенофаз для березы и лиственницы в парке Козлова наступают раньше в среднем на 4-6 дней, относительно фоновой территории участков, в то время как сроки наступления осенних фенофаз наступают раньше в районе профилактория (фон) на 2-3 дня, таким

образом срок активной вегетации на фоновом участке в 2021 году для березы был короче на 6-9 дней,

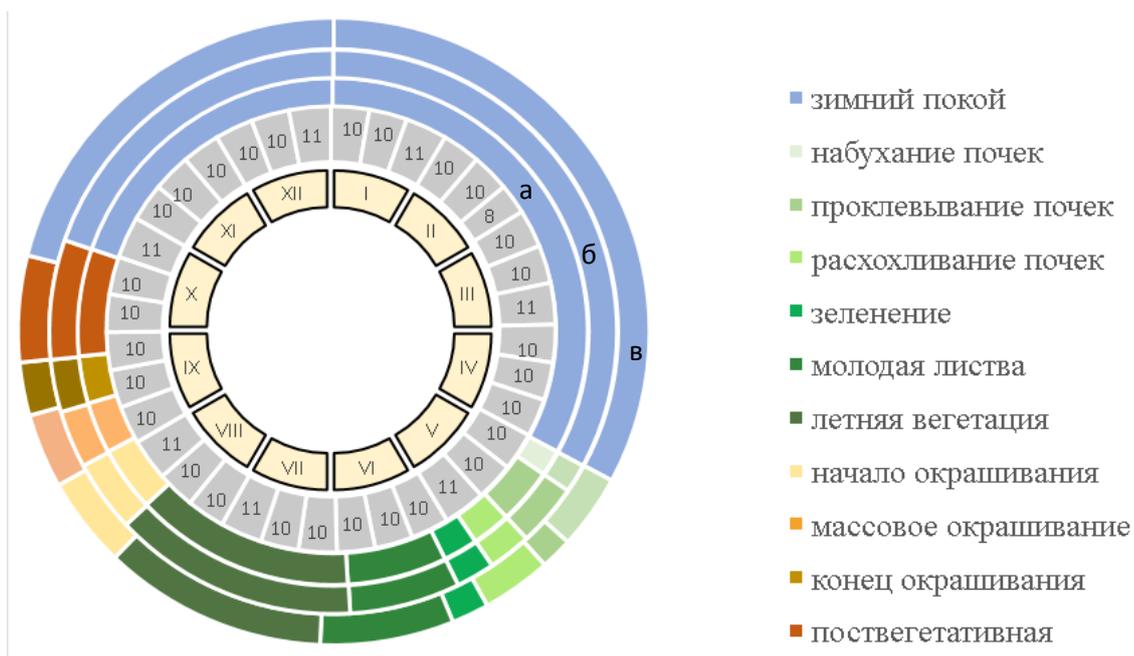


Рис. 6 Диаграмма сроков наступления фенологических фаз березы повислой в парке им. Е.Ф. Козлова (а), Кедровой роще (б), фоновой площадке (в) [выполнено автором на основе данных полевых наблюдений 2021 года]

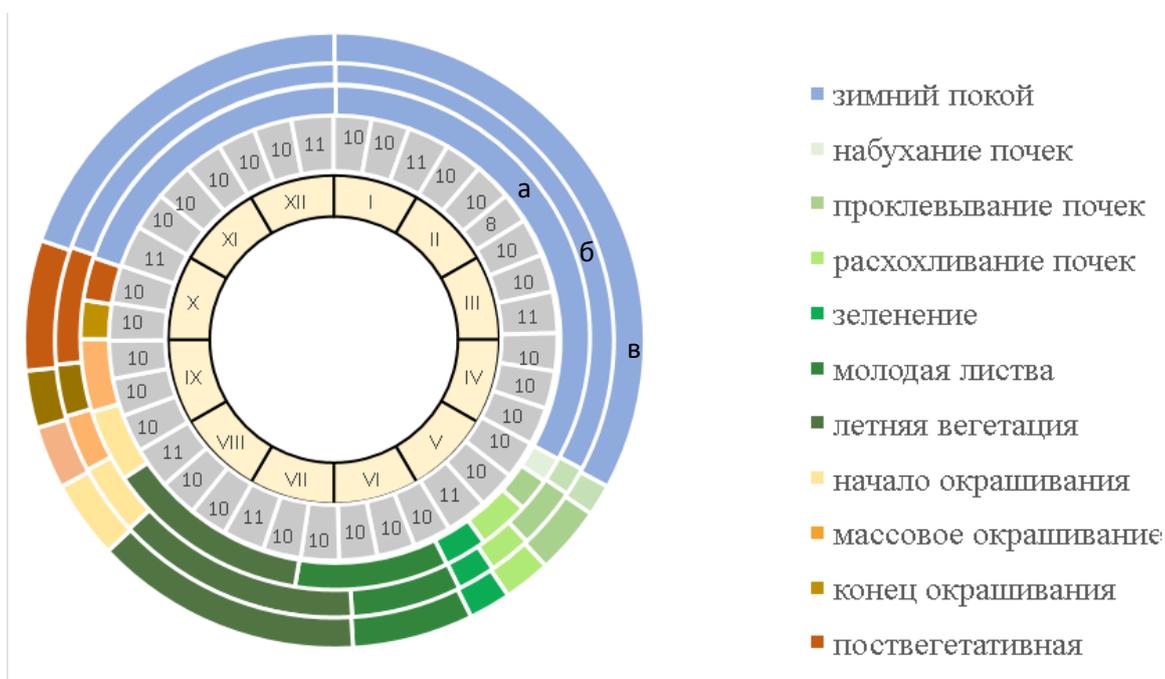


Рис. 7 Диаграмма сроков наступления фенологических фаз лиственницы сибирской в парке им. Е.Ф. Козлова (а), Кедровой роще (б), фоновой площадке (в) [выполнено автором на основе данных полевых наблюдений 2021 года]

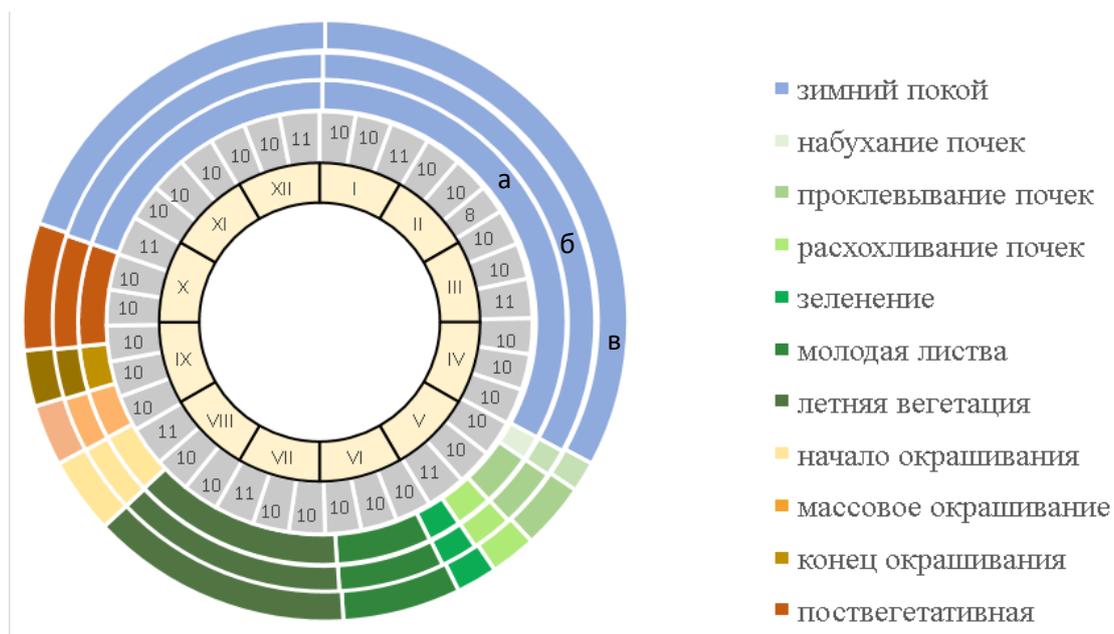


Рис. 8 Диаграмма сроков наступления фенологических фаз брусники обыкновенной в парке им. Е.Ф. Козлова (а), Кедровой роще (б), фоновой площадке (в)

[выполнено автором на основе данных полевых наблюдений 2021 года]

Более быстрое таяние снега в городе и более ранние сроки начала прогревания почвы, сдвинуло фазу расхохливания почек у лиственницы на более ранний период, чем за городом на 5 дней.

На основе этих наблюдений, можно сказать, что представленные растения могут послужить основными индикаторами изменения сроков наступления фенофаз.

Результаты полученных фенонаблюдений были сопоставлены с температурными значениями и были подсчитаны суммы активных температур (ПРИЛОЖЕНИЕ 4), необходимых для прохождения вегетационного процесса. Суммы эффективных температур для каждой фенофазы были подсчитаны путем сложения среднесуточных показателей температур выше 0, выше 5 и выше 10<sup>0</sup>С. Такие температурные значения определяют основные критерии, необходимые для наступления той или иной фенофазы.

Сравнивая потребности в эффективных температурах для вегетационного процесса, в целом, можно сказать, что в парке сроки фенофаз наступают раньше и для них требуется меньше суммы активной температуры,

чем на других исследованных территориях. Вероятно, это связано с влиянием искусственных покрытий, которые нагреваясь ускоряют процессы таяния снега, оттаивания почв формирования более комфортных условий для функционирования корневой системы. Для лиственницы более характерны суммарные значения эффективных температур, т.к. у нее наблюдается длительный процесс прохождения фенологических фаз, в сравнении с остальными видами.

Большинство исследований фенологических режимов березы повислой указывают, что начало активного набухания почек соответствует устойчивому переходу среднесуточных температур через 0°C, как и в городе Надыме.

Основным природным источником тепловой энергии является солнечная радиация. Для растений она служит инициатором прохождения фотохимических реакций, регулируя развитие. Растения могут приспособить всячески свой обмен веществ, внешнее строение к составу солнечной радиации. Однако не все растения получают достаточное количество солнечной энергии. Разрежённость крона играет здесь важную роль. К примеру, у березы и лиственницы световое довольствие достигает 20%, в то время, как у пихты и ели этот показатель, не превышает 5%. Растения нижних ярусов в подлеске, которые цветут ранней весной, проделывают свой короткий жизненный цикл от начала снеготаяния, до наступления поствегетативного периода [8].

Предельное количество тепла является основной предпосылкой для жизни растений. Для каждого из них существуют определенные термические границы и экологический оптимум, после перехода, через который продуктивность этих самых растений уменьшается.

Из-за присутствия чередования смен дня и ночи (освещение), температуры и осадков происходит поступательное чередование благоприятных и неблагоприятных периодов при вегетационном процессе. Прохождение любого цикла растений определяется главным образом с

продолжительностью вегетационного периода и наличием в этот период абиотических условий (световой и температурный режим) [8].

Рост и развитие растений являются основными процессами, которые протекают по их встроенной генетической модификации, которая контролируется внешними условиями абиотической среды. Взаимовлияние всех этих эндогенных и экзогенных факторов приводит к различию жизненного цикла растения на фазы развития, последовательно или волнообразно переходящие заменяющие друг в друга.

Жизненный цикл каждого организма индивидуален и начинается с определенного периода начала репродуктивных процессов вегетативного развития (рост), а далее эти репродуктивные процессы приводят к следующему поколению. На этом жизненный цикл многих растений прекращается.

В ходе исследования был проанализирован один из основных критериев сезонной динамики – термический (температурный) режим воздуха и почв в пределах района исследования. Были составлены графики (ПРИЛОЖЕНИЕ 5) по среднесуточным значениям температур для воздуха и почвы на глубинах 2, 10, 20см. Из графика отчетливо прослеживаются колебания температур воздуха и почвы. Для набухания почек важную роль играет температура воздуха, т.к. это фенофаза наступает при температуре чуть выше  $0^{\circ}\text{C}$ , при этом поверхность почвы имеет отрицательную температуру, но благодаря наличию снежного покрова, играющая роль буферной зоны, выражающаяся в накоплении тепла, препятствует промерзанию корневых систем растений.

Большинство исследований фенологических режимов березы повислой указывают, что начало активного набухания почек соответствует устойчивому переходу среднесуточных температур воздуха, и температуре верхнего слоя почвы выше  $+3^{\circ}\text{C}$  через  $0^{\circ}\text{C}$ , как и в городе Надыме. Распускание листьев наступает при температуре в городе более  $+5^{\circ}\text{C}$ , на фоновых участках можно отметить только относительно явную зависимость от температуры почв, которые к началу фазы расхохливания, накопили достаточно тепла и



обуславливается тем, что температурный режим почв зависит от количества тепла, поступающего на его поверхность и от его теплофизических характеристик, к которым относятся теплоемкость и теплопроводность. Из-за того, что почва (влажная почва) по своей структуре имеет высокую теплоемкость, то она в весеннее время прогревается медленнее, чем воздух и накапливает больше тепла, но из-за менее выраженной теплопроводности поверхность почвы начинает остывать медленнее, чем воздух. Поэтому в ночное время температура почвы будет выше, чем температура воздуха. Аккумулирующий эффект отражается в более высоких температурах. Так, например, летом температура почвы становится чуть выше, чем температура воздуха. Такое различие объясняется еще и тем, что при нагревании поверхности почвы, накопившаяся в ней влага начинает испаряться, в результате чего происходит выработка энергии, которая превращается в тепловой эффект.

Результаты проведенного исследования показывают, что в условиях северной тайги для «островов тепла», температура воздуха является важнейшим элементом климатических преобразований, хорошо отражающая воздействие всех факторов климатических условий, и, как следствие этого, характеризуется явно выраженной сезонной ритмичностью. В едином ходе температур постепенное количественное изменение их значений приводит к качественным изменениям, амплитудам в сезонном развитии природы, выявляющие границы наступления фенологических явлений [49].

Необходимо также отметить, температура играет важную роль для физиологических процессов растений (фотосинтез, дыхание, рост, размножение) и почвенного покрова (накопление влаги, питательных веществ и их миграция в корневые системы растений) [8].

Изменение температуры в городе Надым в связи с формированием «острова тепла», как видно из полученных данных изменяет сроки наступления фенофаз у растений. Данных одного года недостаточно, чтобы провести корреляционный анализ и установить точные зависимости между

сроками наступления фенологических событий и метеорологическими параметрами. Необходимо учитывать и изменение количества осадков в городе и за его пределами. Знание значений сдвигов сроков фенофаз при изменении температуры, геотермального коэффициента, биоклиматических показателей, позволит прогнозировать изменения сезонной динамики растительности и связанных с ней мигрирующих животных при изменении климата. А также осуществлять индикацию изменения микроклиматических условий в различных районах города. К сожалению, данных одного года и по одному типу место обитания недостаточно, чтобы предусмотреть все изменения, которые будут происходить в природных и техногенных ландшафтах, учитывая их разнообразие и не выявленные пока закономерности измерения климатических параметров на локальном и региональном уровне. Поэтому необходимы сетевые наблюдения за растительностью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное глобальное потепление происходит на фоне естественной межгодовой изменчивости климата. Климатические изменения в Надыме наиболее ощутимы, поскольку территория расположена в экстремальных природно-климатических условиях. С каждым годом повышается интерес к фенологическим исследованиям, т.к. он является одним из основных методов при выявлении динамики изменения климата на исследуемой территории.

Первичный (классический) метод группы регистраторов срока является классическим методом фенологических наблюдений. Он прост в использовании, доступен всем категориям наблюдателей.

Определены основные признаки влияния метеорологических факторов на ход развития фенологических фаз у растений.

Температура является основным абиотическим фактором, влияющим на фенологию, сезонное время событий в истории жизни. Потепление климата все больше изменяет естественные фенологические закономерности. Термический режим влияет на режим проявления сезонных метеорологических явлений, которые напрямую связаны с наступлением сроков фенофаз у растений в «островах тепла». При повышении или понижении температуры происходит смещение сроков наступления фенофаз. Весенние фенологические события более чувствительны к климату, поэтому претерпевают наибольшие изменения по сравнению с другими сезонами. В городском «острове тепла» весенне-летние фенофазы березы и лиственницы смещаются в сторону более раннего проявления, даже при более низких температурах воздуха по сравнению с фоном. Лиственница более чувствительна к температуре почв, чем береза, поэтому ее весенне-летние фазы, особенно на фоновых участках могут наступать позднее на 4-5 дней.

Разница в сроках наступления летних фенофаз в городе и за его пределами нивелируется. Сроки наступления осенних фенофаз в городе и на фоновом участке, и у березы, и у лиственницы очень близки, но лиственница

раньше начинает реагировать на понижение температуры чем береза. И начало окрашивания, а затем и опадение листвы происходит у лиственницы на 3-4 дня раньше, чем у березы. Если при многолетних наблюдениях выявленная закономерность подтвердится, то для арктических районов, где береза повислая характерный, но не везде самый распространённый вид, лиственница могла бы стать более чувствительным и надежным индикатором изменений метеорологических параметров.

.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

## Книжные издания

1. Батманов В. А. Заметки по теории фенологического наблюдения [Текст] / В. А. Батманов // Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск: Вост.- Сиб. кн. изд-во, 1967. – С. 7-30.
2. Бейдеман И.Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. Ботанический институт им. В.Л. Комарова АН СССР. Отв. редактор Е.В. Шифферс. М.-Л. Изд-во АН СССР 1954г. 130 с.
3. Буторина Т.Н. Естественные зоны года в Сибири / Т.Н. Буторина // Календари природы Сибири (Сборник научных трудов). Географическое общество СССР; отв. ред. Г.Э. Шульц. – Ленинград, 1974. – С. 7-28.
4. Галахов Н.Н. Изучение структуры климатических сезонов года / Н.Н.Галахов. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 183 с.
5. Жучкова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований: Учеб. пособие для студ. вузов / В.К. Жучкова, Э.М. Раковская. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
6. Карташева Г.Г. Статистическая обработка результатов опыта: методическая разработка. -Екатеринбург: УрГСХА. 2008. – 23 с.
7. Кочуров Б.И., Шишкина Д.Ю., Антипова А.В., Костовска С.К. Геоэкологическое картографирование: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. Б.И. Кочурова. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 192 с.
8. Лархер В. Экология растений. Отв. ред. Т.А. Работнова. М. Изд-во «Мир», 1978. – 384 с.
9. Методы феномониторинга. Учебно-методический комплекс дисциплины / Лекции/ Екатеринбург, 2008г.
10. Терентьева Е.Ю. Комплексные фенологические показатели фитоценозов и их использование при организации феномониторинга. Екатеринбург, 2000. 177 с.

11. Федотова В.Г. Основы фенологии. Ч. 2. Практическая фенология. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002 – 35 с.

12. Фенологические наблюдения (организация, проведение, обработка). Унифицированное руководство для добровольной фенологической сети. Ленинград.: изд. «Наука», 1982. 223с.

13. Харин, Н.Г., Кирильцева А.А., Грингоф И.Г. Сезонные явления природы. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. 136 с.

14. Шульц, Г.Э. Общая фенология [Текст]: учебное пособие / Г.Э. Шульц. – Ленинград, Наука. АН СССР, Географическое Общество СССР 1981 – 188 с.

15. Янцер О.В., Терентьева Е.Ю. Общая фенология и методы фенологических наблюдений. УрГПУ, 2012. — 200 с.

16. Янцер О.В., Терентьева Е.Ю., Общая фенология и методы фенологических исследований: учебное пособие для студентов географо-биологического факультета. Екатеринбург: УрГПУ, 2013. 218 с.

#### Неопубликованные документы:

17. Неопубликованные работы по фенологии Батманова В.А. с комментариями членов фенологической секции РГО/ Урал. гос. пед. ун-т/ Свердловский филиал Русского Географического Общества, Екатеринбург, 2010

#### Электронные издания

18. Ahas R., Menzel A., Fedotova V. Changes in European spring phenology // International Journal of Climatology, 22:1727–1738, 2002. URL <https://www.academia.edu> (дата обращения: 03.02.2022)

19. Brown M.E., K.M. de Beurs, M. Marshall. Global phenological response to climate change in crop areas using satellite remote sensing of vegetation, humidity and temperature over 26 years // Remote Sensing of Environment 126 (2012), p.174–183. URL <https://www.academia.edu> (дата обращения: 04.02.2022)

20. Chmielewski, F. M., Heider, S., Moryson, S., & Bruns, E. (2013). International phenological observation networks—Concept of IPG and GPM

(Chapter 8). In M. D. Schwartz (Ed.), *Phenology: An integrative environmental science* (pp. 137–153). Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V. URL <https://www.academia.edu> (дата обращения: 04.02.2022)

21. Chuine, I., 2010. Why does phenology drive species distribution? *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.* 365, 3149–3160. URL <https://www.academia.edu> (дата обращения: 04.02.2022)

22. Cleland, E.E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H.A., Schwartz, M.D., 2007. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends Ecol. Evol.* 22, 357–365. URL <https://www.academia.edu> (дата обращения: 04.02.2022)

23. E. Post, M. C. Forchhammer, M. S. Bret-Harte, T. V. Callaghan, T. R. Christensen, B. Elberling, A. D. Fox, O. Gilg, D. S. Hik, T. T. Haye, R. A. Ims, E. Jeppesen, D. R. Klein, J. Madsen, A. D. McGuire, S. Rysgaard, D. E. Schindler, I. Stirling, M. P. Tamstorf, N. J. Tyler, R. van der Wal, J. Welker, P. A. Wookey, N. M. Schmidt and P. Aastrup, “Ecological Dynamics across the Arctic Associated with Recent Climate Change,” *Science*, Vol. 325, No. 5946, 2009, pp. 1355-1358. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 07.03.2022)

24. Ibanez, I., Primack, R.B., Miller-Rushing, A.J., Ellwood, E., Higuchi, H., Lee, S.D., Kobori, H., Silander, J.A., 2010. Forecasting phenology under global warming. *Philosoph. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.* 365, 3247–3260. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 05.03.2022)

25. Kramer K. Phenotypic plasticity of the phenology of seven European tree species in relation to climatic warming // *Plant, Cell and Environment* – 1995 - №2 –P.93-104. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 01.03.2022)

26. Linderholm, H.W., 2006. Growing season changes in the last century. *Agric. Forest Meteorol.* 137, 1–14. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 01.03.2022)

27. Linkosalo T, Hakkinen R, Hanninen H. 2006. Models of the spring phenology of boreal and temperate trees: is there something missing? *Tree Physiology* 26: 1165–1172. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 01.03.2022)

28. Lechowicz MJ. 1984. Why do temperate deciduous trees leaf out at different times – adaptations and ecology of forest communities. *American Naturalist* 124: 821–842. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 01.03.2022)
29. Leith H. 1974. *Phenology and seasonality modeling*. Springer-Verlag, P. 444. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 03.11.2021)
30. Menzel A., Fabian P. Growing season extended in Europe // *Nature*. 1999. Vol. 397. P. 659. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 10.03.2022)
31. Morisette, J.T., Richardson, A.D., Knapp, A.K., Fisher, J.I., Graham, E.A., Abatzoglou, J., Wilson, B.E., Breshears, D.D., Henebry, G.M., Hanes, J.M., Liang, L., 2009. Tracking the rhythm of the seasons in the face of global change: phenological research in the 21st century. *Front. Ecol. Environ.* 7, 253–260.
32. Noormets, A. (Ed.), 2009. *Phenology of Ecosystem Processes*. Springer, New York, 275 pp. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 10.03.2022)
33. Parmesan, C., 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biol.* 13, 1860–1872. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 01.03.2022)
34. Phenology by Carole Ann Griffiths Jacobson. URL <http://ext100.wsu.edu/skagit/wp-content/uploads/sites/5/2014/03/012811.pdf> (дата обращения 17.09.2021)
35. Remote sensing Phenology URL <https://www.usgs.gov/core-science-systems/eros/phenology/science/> (дата обращения: 08.12.2020).
36. Rosenzweig, C., G. Casassa, D.J. Karoly, A. Imeson, C. Liu, A. Menzel, S. Rawlins, T.L. Root, B. Seguin, P. Tryjanowski, and C.E. Hanson, 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, and P.J. van der

Linden, Eds. Cambridge University Press, pp. 79-131. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 15.04.2022)

37. Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I.C., Araujo, M.B., Arnell, N.W., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T.R., Gracia, C.A., de la Vega-Leinert, A.C., Erhard, M., Ewert, F., Glendining, M., House, J.I., Kankaanpää, S., Klein, R.J.T., Lavorel, S., Lindner, M., Metzger, M.J., Meyer, J., Mitchell, T.D., Reginster, I., Rounsevell, M., Sabate, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Zaehle, S., Zierl, B., 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310, 1333–1337. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 04.05.2022)

38. Schwartz MD, Reiter BE. 2000. Changes in North American spring. *International Journal of Climatology* 20: 929–932. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 04.05.2022)

39. Schwartz, M. D. (2013). *Phenology: An integrative environmental science*. Dordrecht Heidelberg New York London: Springer. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 04.05.2022)

40. Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Hodges, J. C. F., Gao, F., Huete, A. 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 84, 471–475. URL <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 22.05.2022)

41. Галахов И.И. Фенологические наблюдения. URL [https://www.outdoors.ru/book/obruchev/cp/cp\\_kr\\_t2\\_gl29.doc](https://www.outdoors.ru/book/obruchev/cp/cp_kr_t2_gl29.doc). print = true. (дата обращения: 06.11.2021)

42. Капустин В.Г., Скок Н.В. Ландшафтное районирование горной полосы и предгорий Среднего Урала // Современные исследования природных и социально-экономических систем. Инновационные процессы и проблемы развития естественнонаучного образования: матер. Международ. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Географо-биологического факультета УрГПУ, 17-18 ноября 2016 г., Екатеринбург / ред. Янцер О.В., Ванюкова Т.В., Иванова

Ю.Р.; Урал. гос. пед. ун-т. – Екатеринбург, 2016. — С. 144–149. URL <https://elibrary.ru> (дата обращения 19.03.2022).

43. Кулагин А.А., Николаева В.В. Весенние феноритмы березы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающей в городе Уфа (Республика Башкортостан) // Вестник Башкирск. ун-та. 2014. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vesennie-fenoritmy-berezy-povisloy-betula-pendula-roth-proizrastayuschey-v-gorode-ufa-respublika-bashkortostan> (дата обращения: 12.07.2022).

44. Межправительственная группа экспертов по изменению климата URL <https://www.ipcc.ch/> (дата обращения 01.06.2022)

45. Минин А.А., Прокошева И.В., Сапельникова И.И., Шуйская Е.А. 2018. Состояние фенологических наблюдений и исследований в России // Летопись природы России: фенология. Великие Луки: Великолукская типография. С. 8–17. URL <https://elibrary.ru> (дата обращения 10.03.2022)

46. Паутова Н. В. Особенности фенологического развития и адаптации лиственницы сибирской в условиях европейского Северо-Востока // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №1-4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-fenologicheskogo-razvitiya-i-adaptatsii-listvennitsy-sibirskoy-v-usloviyah-evropeyskogo-severo-vostoka> (дата обращения: 13.07.2022).

47. Программа мониторинга и оценки Арктики (ACIA) URL <https://www.amap.no/> (дата обращения 01.06.2022)

48. Русское географическое общество URL <https://fenolog.rgo.ru> (дата обращения: 13.05.2022)

49. Терентьева, Е.Ю. Использование комплексных фенологических показателей растительных сообществ для оценки сезонной динамики растительности горных территорий [Текст]/ Терентьева Е.Ю. // Александр Гумбольдт и исследования Урала. Материалы российско-германской конференции 20-21 июня 2002 года. – Екатеринбург, С.241-244. URL <https://elibrary.ru> (дата обращения 19.03.2022)

50. Федотова В.Г. Современное состояние отечественной фенологии // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). — 2009. — № 4. — С. 166—176. URL <https://elibrary.ru> (дата обращения 20.03.2022)

51. Янцер О.В. Сезонная динамика ландшафтных геокомплексов среднегорий Северного Урала (на примере заповедника «Денежкин Камень»). Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. / Пермь, 2005. — 19 с. URL <https://elibrary.ru> (дата обращения 24.03.2022)

52. Янцер О.В. Общая фенология и перспективные направления ее развития // Наука и образование: современные тренды: коллективная монография, гл. ред. О. Н. Широков / Чебоксары: ЦНС «Интерактив-плюс», 2015. № IX. 372 с. (Серия «Научно методическая библиотека»). С. 71-80. URL <https://elibrary.ru> (дата обращения 22.03.2022)

53. Учебно-методический комплекс дисциплины «Методы феномониторинга». Е.Ю. Терентьева; Федер. агентство по образованию, Урал. гос. ун-т им. А.М. Горького, ИОНЦ «Экология и природопользование» [и др.]. — Электрон. дан. (680 Мб). — Екатеринбург, 2008. URL <https://elar.urfu.ru/handle/10995/2414> (дата обращения: 19.01.2022)

#### Картографические издания

54. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа – Омск: Омская картографическая фабрика, – 2004. – 304 с.

Фенологический стандарт вегетативного (а) и генеративного (б) процесса  
развития растений

а)	Буквенное обозначение	Название фенофазы	б)	Буквенное обозначение	Название фенофазы
	-	Зимний покой		-	Предгенеративная
	<b>нб</b>	Набухание почек		<b>Б1</b>	Начало бутонизации
	<b>пр</b>	Проклевывание почек		<b>Б2</b>	Массовая бутонизация
	<b>Рх</b>	Расхопливание почек		<b>Ц1</b>	Начало цветения
	<b>З</b>	Зеленение		<b>Ц2</b>	Массовое цветение
	<b>Мл</b>	Молодая листва		<b>Отц1</b>	Начало отцветания
	<b>лв</b>	Летняя вегетация		<b>Отц2</b>	Массовое отцветание
	<b>но</b>	Начало окрашивания		<b>П1</b>	Завязывание плодов и семян
	<b>мо</b>	Массовое окрашивание		<b>П2</b>	Созревание плодов и семян
	<b>ко</b>	Конец окрашивания		<b>Р.с.1</b>	Начало рассеивания плодов и семян
	<b>пг</b>	Поствегетативная		<b>Р.с.2</b>	Массовое рассеивание плодов и семян
				<b>Р.с.3</b>	Конец рассеивания плодов и семян
				<b>П.г.</b>	Постгенеративная

## Сроки наступления фенофаз некоторых видов растений

Фенофаза вегетативного цикла	Территория исследования	Береза повислая	Брусника	Лиственница
		дата	дата	дата
Набухание почек	Парк Козлова	1-10.05	-	1-10.05
	Кедровая роща	11-20.05	-	11-20.05
	Профилакторий	11-20.05	-	11-20.05
Проклевывание почек	Парк Козлова	11-20.05	21-30.05	11-20.05
	Кедровая роща	20.05-10.06	21.05-10-06	20.05-10.06
	Профилакторий	20.05-30.05	21.05-10-06	20.05-30.05
Расхопливание почек	Парк Козлова	21-31.05	01-10.06	21-31.05
	Кедровая роща	01-10.06	11-20.06	01-10.06
	Профилакторий	01-10.06	11-20.06	01-10.06
Зеленение	Парк Козлова	1-10.06	11-20.06	1-10.06
	Кедровая роща	10-20.06	21-30.06	11-20.06
	Профилакторий	10-20.06	21-30.06	11-20.06
Молодая листва	Парк Козлова	11-20.06	21.06-10.07	11.06-10.07
	Кедровая роща	21-30.06	21.06-10.07	21-30.06
	Профилакторий	21-30.06	21.07-10.08	21-30.06
Летняя вегетация	Парк Козлова	21.06-20.08	10.07-20.08	11.07-20.08
	Кедровая роща	01.07-20.08	10.07-20.08	20.07-20.08
	Профилакторий	01.07-20.08	10.07-20.08	20.07-20.08
Начало окрашивания	Парк Козлова	21-31.08	21.08-10.09	21.08-10.09
	Кедровая роща	21-31.08	21.08-10.09	21.08-10.09
	Профилакторий	21-31.08	21.08-10.09	21.08-10.09
Массовое окрашивание	Парк Козлова	01-10.09	10-20.09	11.09-10.10
	Кедровая роща	01-10.09	10-20.09	11.09-10.10
	Профилакторий	01-10.09	10-20.09	11.09-10.10

Конец окрашивания	Парк Козлова	11-20.09	20.09-10.10	11-20.10
	Кедровая роща	11-20.09	20.09-10.10	11-20.10
	Профилакторий	11-20.09	20.09-10.10	11-20.10
Поствегетативная	Парк Козлова	21.09-10.10	10-20.10	20.10-10.11
	Кедровая роща	21.09-10.10	10-20.10	20.10-10.11
	Профилакторий	21.09-10.10	10-20.10	20.10-10.11

Фенофаза генеративного цикла	Территория исследования	Кедр сибирский	Голубика
		дата	дата
Начало бутонизации	Парк	1-20.05	10-20.05
	Кедровая роща	1-20.05	10-20.05
	Профилаторий	1-20.05	10-20.05
Массовая бутонизация	Парк	21.05-10.06	21-30.05
	Кедровая роща	21.05-10.06	21-30.05
	Профилаторий	21.05-10.06	21-30.05
Начало цветения	Парк	11-20.06	01-10.06
	Кедровая роща	11-20.06	01-10.06
	Профилаторий	11-20.06	01-10.06
Массовое цветение	Парк	21-06-10.07	11-20.06
	Кедровая роща	21.06-11.07	11-20.06
	Профилаторий	21.06-11.07	11-20.06
Начало отцветания	Парк	11-20.07	21-30.06
	Кедровая роща	11-31.07	21-30.06
	Профилаторий	11-31.07	21-30.06
Массовое отцветание	Парк	21-31.07	1-10.07
	Кедровая роща	01-10.08	1-10.07
	Профилаторий	01-10.08	1-10.07
Завязывание плодов и семян	Парк	01-10.08	11-30.07
	Кедровая роща	11-20.08	11-30.07
	Профилаторий	11-20.08	11-30.07
Созревание плодов и семян	Парк	11-21.08	01-20.08
	Кедровая роща	21.08-31.08	01-20.08
	Профилаторий	21.08-31.08	01-20.08
Начало рассеивания плодов и семян	Парк	21.08-10.09	21-31.08
	Кедровая роща	01-10.09	21-31.08
	Профилаторий	01-10.09	21-31.08
	Парк	11-10.09	01-10.09

Массовое рассеивание плодов и семян	Кедровая роща	11-20.09	01-10.09
	Профилакторий	11-20.09	01-10.09
Конец рассеивания плодов и семян	Парк	21-30.09	10-20.09
	Кедровая роща	21-30.09	10-20.09
	Профилакторий	21-30.09	10-20.09

## Расчёт вероятной даты наступления фенологических фаз вегетационного цикла

Фенофаза	Территория исследования	Береза		Лиственница		Брусника	
		$M = \frac{a+b}{2}$	$m = \frac{\sqrt{b-a}^2}{12}$	$M = \frac{a+b}{2}$	$m = \frac{\sqrt{b-a}^2}{12}$	$M = \frac{a+b}{2}$	$m = \frac{\sqrt{b-a}^2}{12}$
Набухание почек	Парк Козлова	28.04.21	≈3	01.05.21	≈3	-	-
	Кедровая роща	5.05.21	≈5	02.05.21	≈4	-	-
	Профилакторий	5.05.21	≈5		≈3,5	-	-
Проклевывание почек	Парк Козлова	10.05.21	≈2	08.05.21	≈2	16.05.21	≈2
	Кедровая роща	16.05.21	≈4	11.05.21	≈4	16.05.21	≈2
	Профилакторий	16.05.21	≈4	11.05.21	≈4	16.05.21	≈2
Расхопливание почек	Парк Козлова	16.05.21	≈2,5	16.05.21	≈2,5	29.05.21	≈3
	Кедровая роща	22.05.21	≈3	20.05.21	≈4	30.06.21	≈4
	Профилакторий	21.05.21	≈3		≈4	30.06.21	≈4
Зеленение	Парк Козлова	29.05.21	≈3	28.05.21	≈2	07.06.21	≈2
	Кедровая роща	04.06.21	≈4	01.06.21	≈2,5	08.06.21	≈2,5
	Профилакторий	04.06.21	≈4		≈2,5	08.06.21	≈2,5
Молодая листва	Парк Козлова	07.06.21	≈2	07.06.21	≈4	15.06.21	≈3
	Кедровая роща	11.06.21	≈2,5	09.06.21	≈4,5	16.06.21	≈4,5
	Профилакторий	11.06.21	≈2,5		≈5	16.06.21	≈5
Летняя вегетация	Парк Козлова	04.07.21	≈5	10.07.21	≈4	06.07.21	≈4
	Кедровая роща	05.07.21	≈5	12.07.21	≈4,5	07.07.21	≈4
	Профилакторий	05.07.21	≈5		≈4,5	07.07.21	≈5
Начало окрашивания	Парк Козлова	16.08.21	≈4	22.08.21	≈2	21.08.21	≈4
	Кедровая роща	16.08.21	≈4		≈3	22.08.21	≈4
	Профилакторий	16.08.21	≈4		≈3	22.08.21	≈4
Массовое окрашивание	Парк Козлова	02.09.21	≈2	08.09.21	≈3	06.09.21	≈4
	Кедровая роща	02.09.21	≈2		≈3	07.09.21	≈4

	Профилакторий	02.09.21	≈2		≈3	07.09.21	≈4
Конец окрашивания	Парк Козлова	16.09.21	≈2	07.10.21	≈3	18.09.21	≈4
	Кедровая роща	16.09.21	≈2		≈3	18.09.21	≈4
	Профилакторий	16.09.21	≈2		≈3	18.09.21	≈4
Поствегетативная	Парк Козлова	25.09.21	≈3	16.10.21	≈3	29.09.21	≈4
	Кедровая роща	25.09.21	≈3		≈3	30.09.21	≈4
	Профилакторий	25.09.21	≈3		≈3	30.09.21	≈4

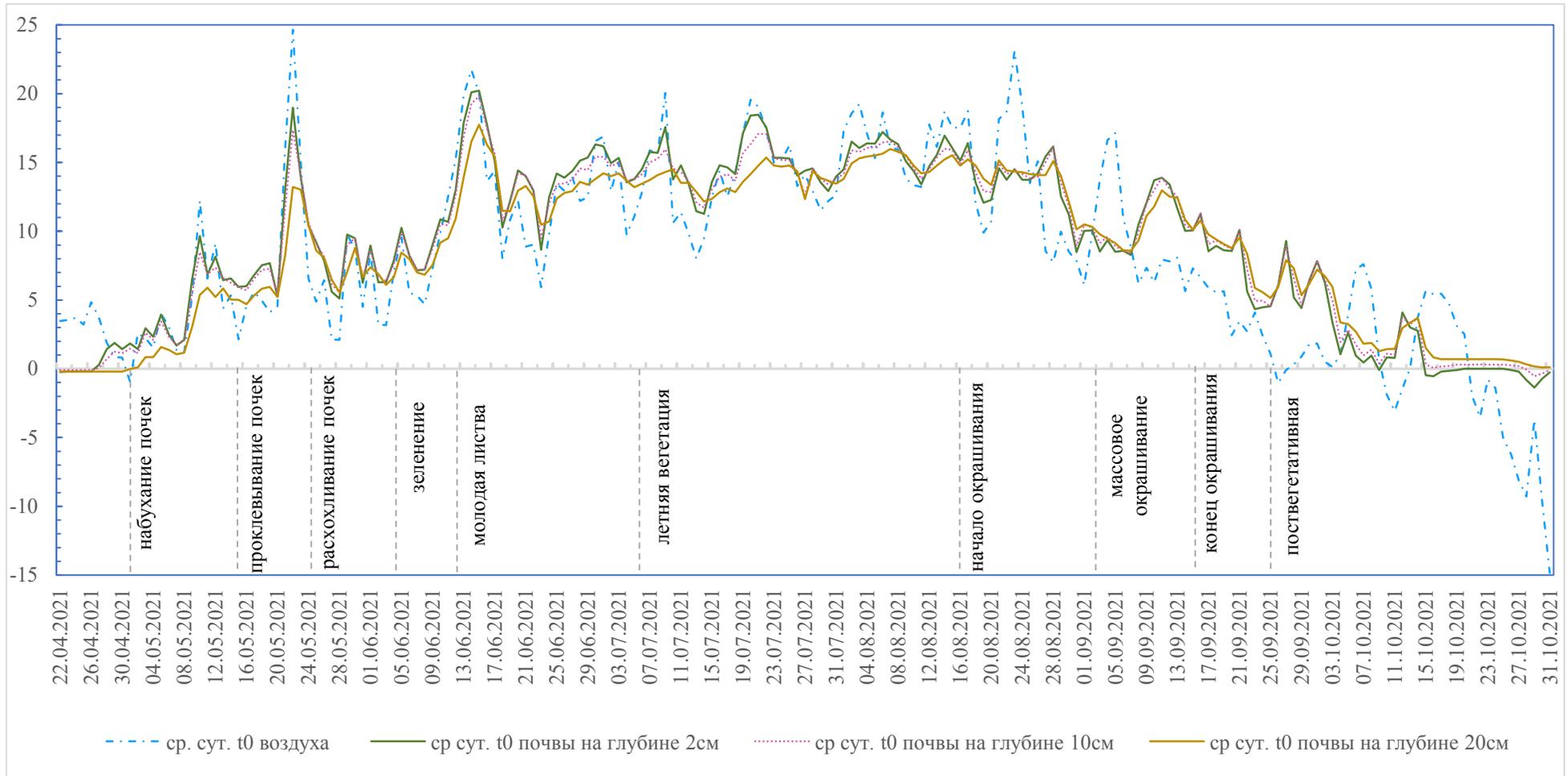
## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

## Сумма активных температур, необходимых для вегетационного развития растений

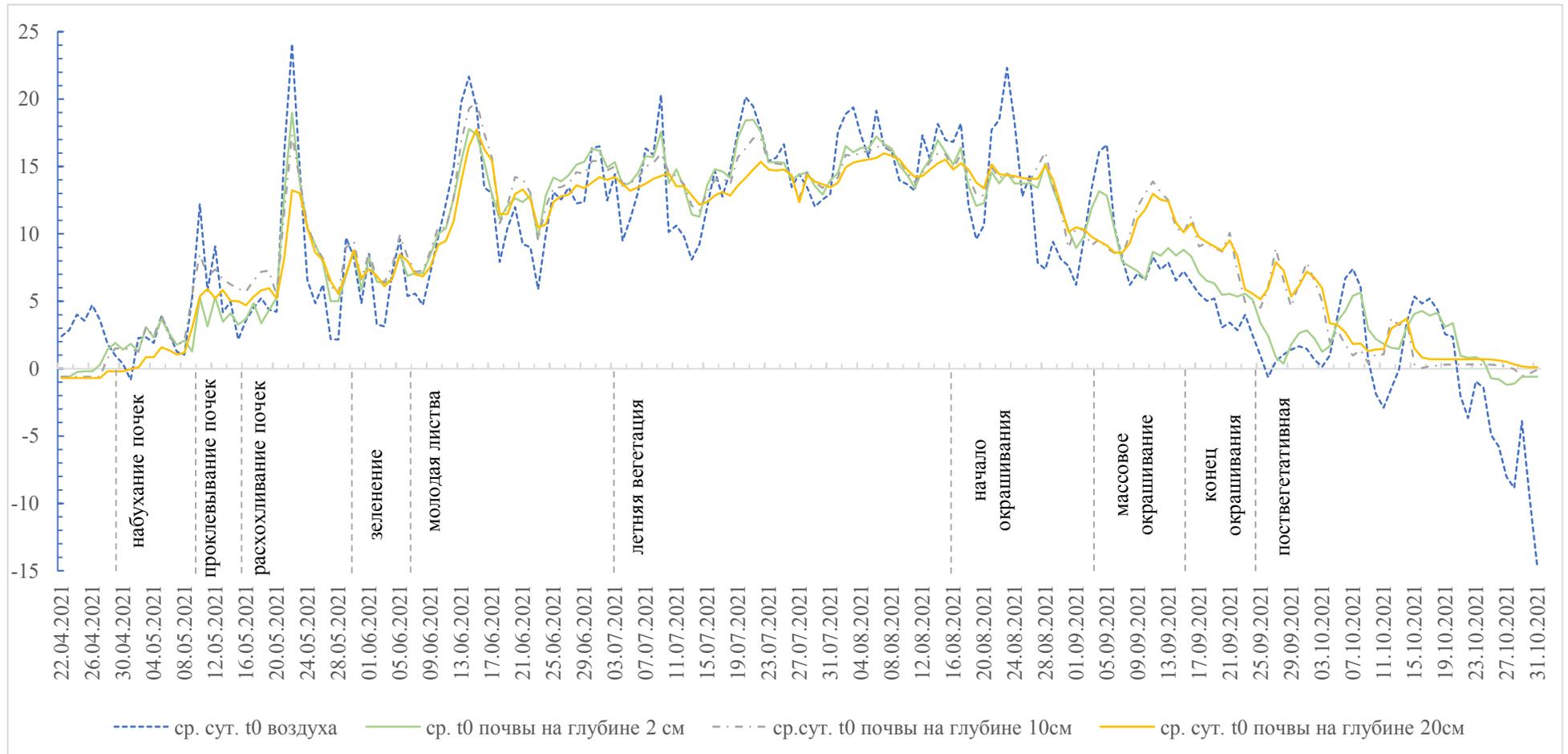
Фенофаза	Территория исследования	Береза				Лиственница				Брусника			
		Дата	T <sup>0</sup> >0	T <sup>0</sup> >5	T <sup>0</sup> >10	дата	T <sup>0</sup> >0	T <sup>0</sup> >5	T <sup>0</sup> >10	дата	T <sup>0</sup> >0	T <sup>0</sup> >5	T <sup>0</sup> >10
Набухание почек	Парк Козлова	28.04.21	23,02	-	-	01.05.21	24,36	-	-	-	-	-	-
	Кедровая роща	01.05.21	35,97	-	-	02.05.21	28,23	-	-	-	-	-	-
	Профилакторий	02.05.21								-	-	-	-
Проклевывание почек	Парк Козлова	10.05.21	57,19	17,46	12,21	08.05.21	39,73	-	-	16.05.21	85,28	32,33	12,21
	Кедровая роща	15.05.21	91,25	38,62	12,22	11.05.21	65,65	24,02	12,22	16.05.21	89,35	38,45	12,22
	Профилакторий	16.05.21								16.05.21			
Расхопливание почек	Парк Козлова	16.05.21	86,96	32,33	12,21	16.05.21	89,36	32,33	12,21	29.05.21	190,42	115,16	67,28
	Кедровая роща	21.05.21	126,42	60,19	28,22	20.05.21	110,43	44,02	12,22	30.05.21	204,8	131,18	67,92
	Профилакторий	22.05.21								30.05.21			
Зеленение	Парк Козлова	29.05.21	192,1	115,16	67,28	28.05.21	186,36	105,45	67,28	07.06.21	246,18	159,65	67,28
	Кедровая роща	04.06.21	233,09	146,85	67,92	01.06.21	219,69	139,69	67,92	08.06.21	256,28	167,07	67,92
	Профилакторий	04.06.21								08.06.21			
Молодая листва	Парк Козлова	07.06.21	247,86	159,65	67,28	07.06.21	251,61	159,65	67,28	15.06.21	355,77	264,51	155,18
	Кедровая роща	11.06.21	286,84	195,92	80,43	09.06.21	265,55	174,48	67,92	16.06.21	373,92	284,72	169,42
	Профилакторий	11.06.21								16.06.21			
Летняя вегетация	Парк Козлова	04.07.21	581,24	488,3	327,49	10.07.21	674,32	575,15	400,87	06.07.21	603,74	512,48	351,67
	Кедровая роща	05.07.21	601,18	523,11	329,95	12.07.21	697,42	606,35	429,76	07.07.21	627,99	538,79	372,17
	Профилакторий	05.07.21								07.07.21			
Начало окрашивания	Парк Козлова	16.08.21	1227,62	1134,68	946,74	22.08.21	1318,05	1221,36	1010,35	21.08.21	1294,15	1202,89	1005,35
	Кедровая роща	16.08.21	1231,68	1153,61	933,01	22.08.21	1319,94	1228,87	1024,89	22.08.21	1318,02	1228,82	1024,99
	Профилакторий	16.08.21								22.08.21			
Массовое окрашивание	Парк Козлова	02.09.21	1438,31	1345,37	1091,57	08.09.21	1512,93	1416,24	1134,57	06.09.21	1501,28	1410,02	1148,03
	Кедровая роща	02.09.21	1449,05	1370,98	1082,17		1522,49	1431,42	1154,25	07.09.21	1514,49	1425,29	1154,35
	Профилакторий	02.09.21					07.09.21						
Конец окрашивания	Парк Козлова	16.09.21	1566,46	1473,52	1148,03	07.10.21	1627,34	1503,41	1134,57	18.09.21	1575,37	1484,11	1148,03
	Кедровая роща	16.09.21	1578,32	1500,25	1140,67		1635,11	1519,13	1154,25	18.09.21	1587,82	1498,62	1154,35
	Профилакторий	16.09.21					18.09.21						

Поствегет ативная	Парк Козлова	25.09.21	1598,97	1489,31	1148,03	16.10.21	1635	1514,83	1134,57	29.09.21	1599,01	1489,31	1148,03
	Кедровая роща	25.09.21	1612,09	1517,30	1140,67		1656,87	1536,5	1154,25	30.09.21	1610,66	1504,25	1154,35
	Профилакторий	25.09.21								30.09.21			

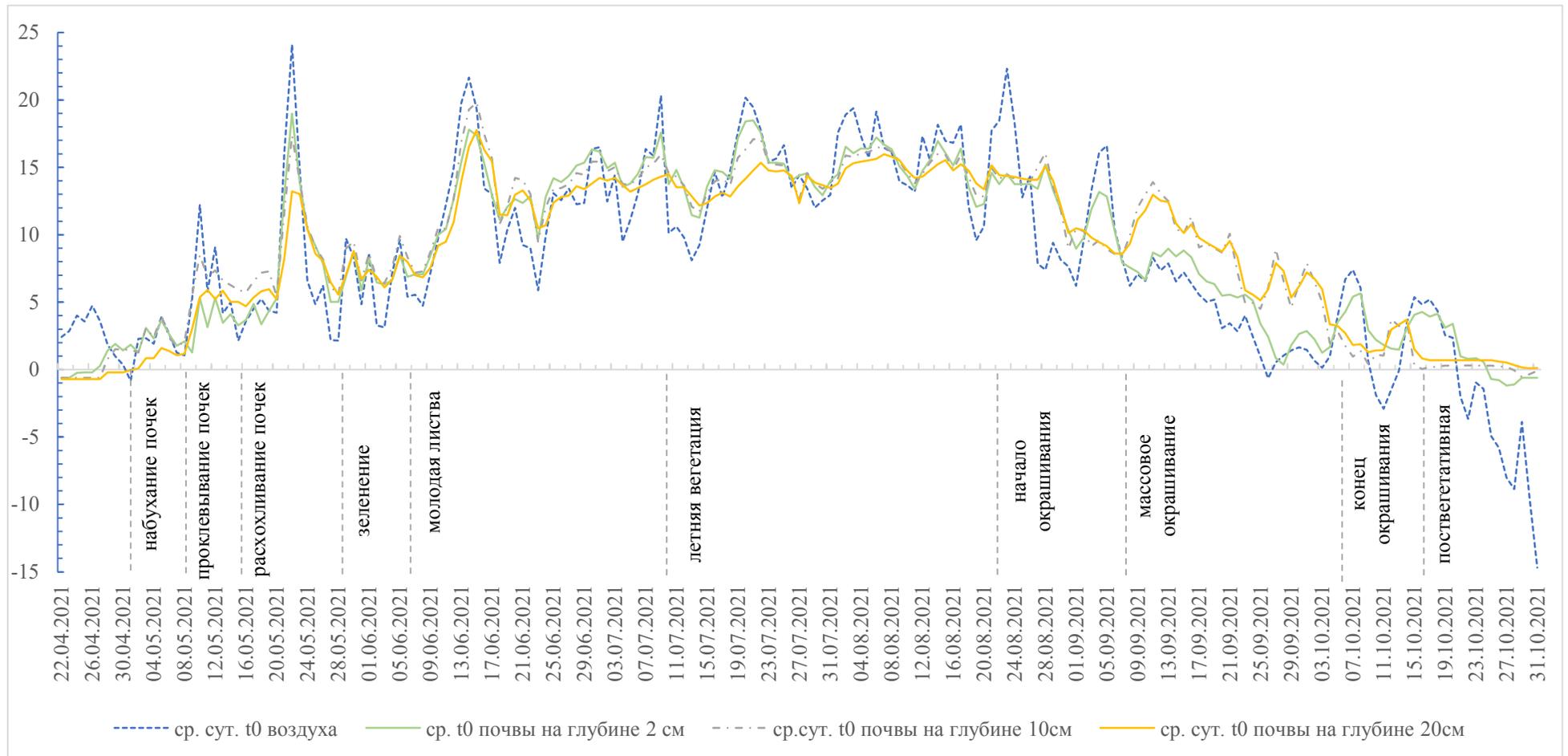
Связь среднесуточных температур воздуха и почвы с ходом фенологических фаз у березы повислой в кедровой роще и профилактории



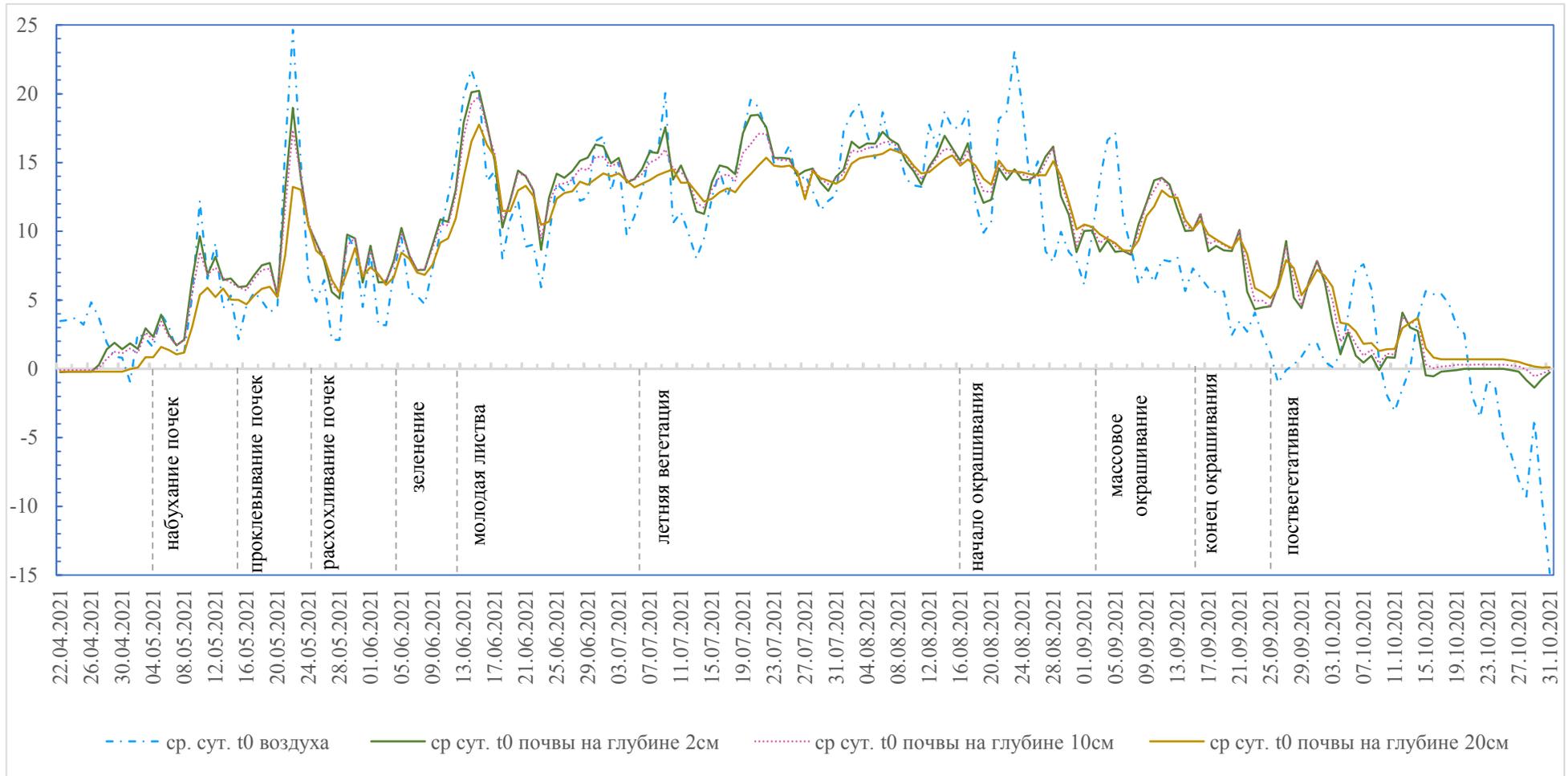
### Связь среднесуточных температур воздуха и почвы с ходом фенологических фаз у березы повислой в парке Козлова



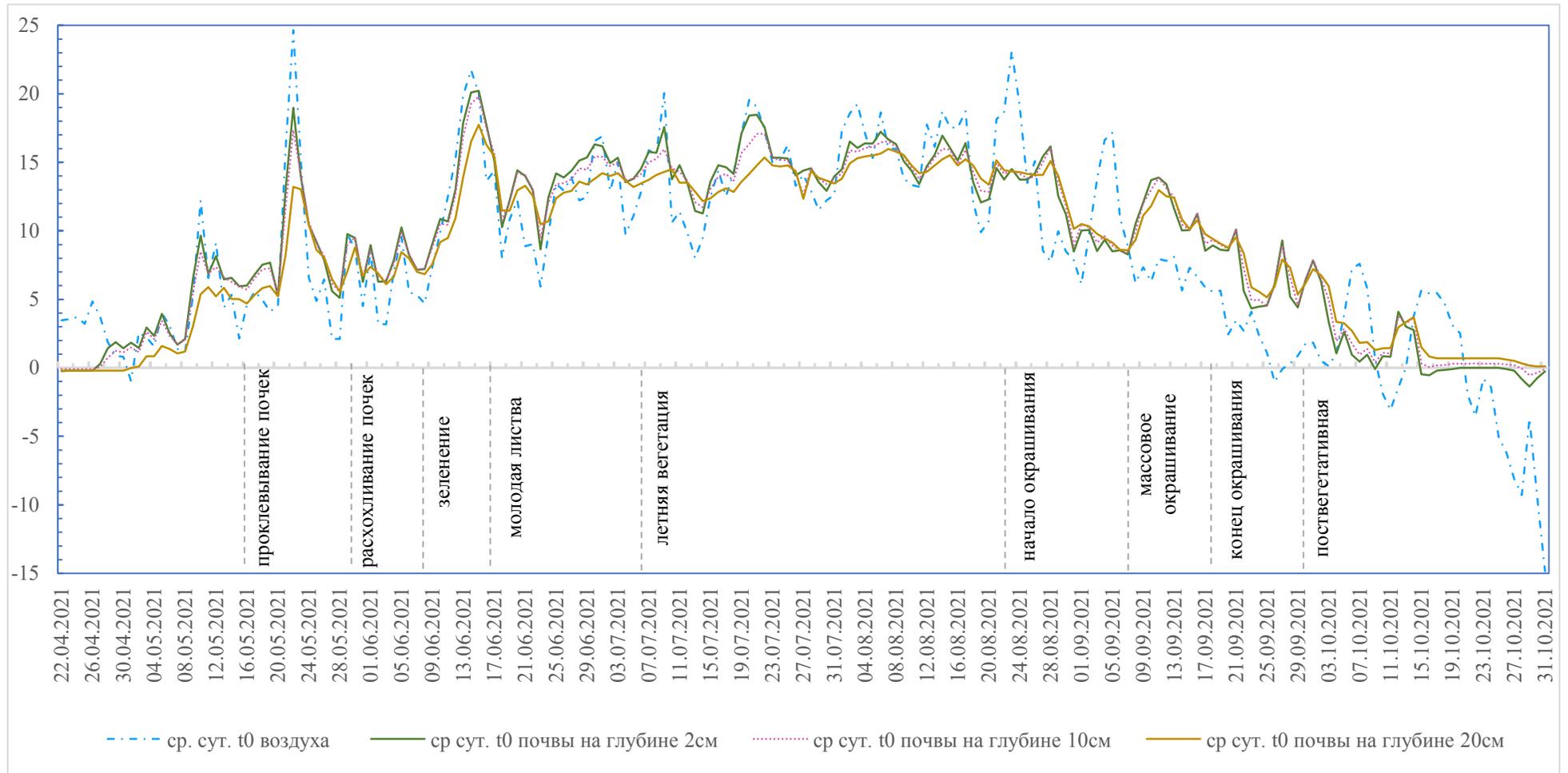
Связь среднесуточных температур воздуха и почвы с ходом фенологических фаз у лиственницы сибирской  
в парке Козлова



Связь среднесуточных температур воздуха и почвы с ходом фенологических фаз у лиственницы сибирской в кедровой роще и профилактории



Связь среднесуточных температур воздуха и почвы с ходом фенологических фаз у брусники лесной в кедровой роще и профилактории



Связь среднесуточных температур воздуха и почвы с ходом фенологических фаз у брусники лесной  
в парке Козлова

