

Министерство просвещения Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный педагогический университет»
Свердловское областное отделение Всероссийской общественной организации
«Русское Географическое Общество»
Институт географии РАН
Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля
Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН
Фенологический центр Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ПОГОДНЫЕ АНОМАЛИИ: МЕХАНИЗМЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ГОМЕОСТАТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

**Материалы Всероссийской
научно-практической конференции**

7-10 сентября 2022 года

Екатеринбург 2022

УДК
ББК
И

Рекомендовано Ученым советом федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Уральский государственный педагогический университет»
в качестве *научного* издания (Решение № от . .2022)

Редакционная коллегия:

О.В. Янцер, канд. геогр. наук, доцент
А.М. Юровских, ассистент
Н.С. Братанов, специалист по УМР

И Изменения климата и погодные аномалии: механизмы и эффективность фенологических гомеостатических реакций : материалы Всероссийской научно-практической конференции, 7-10 сентября 2022 года / Уральский государственный педагогический университет ; под редакцией О. В. Янцер, А.М. Юровских, Н.С. Братанова. – Электрон. дан. – Екатеринбург : [б. и.], 2022. – 1 CD-ROM. – Текст : электронный.

ISBN

В сборнике изложены результаты научных исследований, посвященных фенологии и экологии живых организмов, в том числе их отклика в условиях меняющегося климата. Основное научно-тематическое содержание связано с анализом климатических и погодных аномалий в контексте современных проблем сезонной динамики природы. Рассмотрены механизмы реакции биоты на изменения климата и погоды, методические вопросы, математические методы анализа данных, особенности динамики природных компонентов ландшафтов под влиянием изменений климата. Актуальные проблемы современной фенологии посвящены вопросам составления единой методики наблюдений, организации и проведения фенологических наблюдений в работе со школьниками и студентами, проектов в системе ДПО.

Широкий круг проблем, обсуждаемых в сборнике, предполагает широкий круг читателей. Его материалы будут полезны научным сотрудникам особо охраняемых природных территорий (ООПТ), учителям, студентам, аспирантам, всем, кто интересуется современными изменениями климата и сезонной динамикой ландшафтов.

Материалы публикуются в авторской редакции.

ISBN
2022

УДК
ББК
© ФГБОУ ВО «УрГПУ»,

СОДЕРЖАНИЕ

Гурьевских О.Ю., К вопросу о методике ландшафтного обоснования региональной фенологической сети Урала.....	5
Данилов А.Н., Грачев С.В., Сезонные орнитологические экскурсии как метод обучения основам фенологических исследований.....	11
Золкин С.Ю., Как недостатки в работе автоматизированных систем контроля климата могут положительно повлиять на развитие и цветение некоторых растений.....	15
Зотова О.Е., Сезонный ритм развития некоторых видов боярышника, интродуцированных на север.....	21
Квашнина А.Е., Возьмитель Ф.К., Янцер О.В., Пространственный и временной анализ суммированных фенологических характеристик в высотных поясах территории заповедника «Денежкин Камень»	26
Китаев Л. М., Данилович И.С., Акентьева Е.М., Особенности региональной неоднородности средних и экстремальных метеорологических характеристик северо-запада Восточно-Европейской равнины	38
Крюкова С.А., Поликарпова Н.В., Отклики биоты на изменения климата на примере заповедника «Пасвик»	46
Линник Е.В. Фенологические наблюдения за <i>Magnolia obovata</i> Thunb. в естественных условиях на острове Кунашир (Сахалинская область)	52
Липпонен И.Н., Полоскова Е.Ю., Фенологические фазы бутонизации и цветения у интродуцированных растений черемуха в условиях крайнего севера	61
Маковозова З.Э., Мосягина Е.М., Некоторые вопросы роста урбанизации и его влияния на природно- техногенные системы	66
Маликов Д.Г., Голованов С.Е., Ландшафты Предалтайской равнины в каргинское время (MIS 3, поздний плейстоцен) по данным о фауне мелких млекопитающих	69
Михайлов В.В., Анализ и обобщение метеорологических данных на территории обитания диких северных оленей таймырской популяции	72
Попова О.А., Организация и проведение экскурсии «Зима в жизни растений Забайкалья»	82

Прокофьева Е. Д., Липпонен И. Н., Предпосылки к оптимизации процесса фенологических наблюдений (на примере коллекции древесных растений Полярно-альпийского ботанического сада-института)	86
Сапельникова И. И., Шуйская Е.А., Прокошева И.В., Математическая обработка фенологических данных для задач ООПТ	89
Скок Н.В., Иванова Ю.Р., Юровских А.М., Влияние термического режима на зеленение листы березы в окрестностях города Нижний Тагил	100
Скок Н.В., Иванова Ю.Р., Юровских А.М., Оценка качества окружающей среды г. Екатеринбурга по результатам асимметрии листьев березы повислой	105
Спасовский Ю. Н., Опыт использования метода В.А. Батманова в Фенологическом мониторинге фитоценозов основных высотных поясов кавказского заповедника.....	110
Фадеева И.В., Лебедев П.А., Фирсов Г.А., Фенологические наблюдения в Ботаническом саду Петра Великого и детская фенологическая сеть Санкт-Петербурга	115
Яницер О.В., Лаптев Н.А., Пространственно-временные сдвиги в сроках цветения черемухи обыкновенной в условиях климатических изменений на Урале	124

Гурьевских Ольга Юрьевна,

кандидат географических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный педагогический университет»; 620017, Россия, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26; e-mail: gurevskikh@mail.ru

Институт степи УрО РАН ОФИЦ УрО РАН

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ЛАНДШАФТНОГО ОБОСНОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ФЕНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ УРАЛА

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена вопросам научного обоснования региональной фенологической сети Урала. Методологической основой исследования послужил функционально-динамический подход. Структурный и пространственный анализ фенологической сети по ландшафтным провинциям Урала позволил выявить ее специфику, выраженную в разветвленности, но неравномерности и несоответствии ландшафтному разнообразию. Предложена единица типологической классификации ландшафтов, оптимально отражающая специфику территории и служащая основой для географической привязки региональной фенологической сети. Представлены ключевые критерии географической репрезентативности опорных пунктов фенологической сети: типичности, ландшафтного разнообразия, учета антропогенной дифференциации, определяющие корректность полученных данных. Рассмотрено значение фенологической сети для функционирования системы особо охраняемых природных территорий и для оптимизации мониторинга динамики природных комплексов в аспекте устойчивого развития региона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фенологическая сеть; ландшафтное обоснование; географическая репрезентативность; ООПТ, Урал.

Guryevskikh Olga Yurevna

Cand. Sc. (Geography), Associate Professor of Ural State Pedagogical University

Institute of Steppe Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, OFIC UrB RAS

Yekaterinburg, Russia

TO THE QUESTION OF THE METHODOLOGY OF LANDSCAPE SUBSTANTIATION OF THE REGIONAL PHENOLOGICAL NETWORK OF THE URALS

ANNOTATION. The article is devoted to the scientific substantiation of the regional phenological network of the Urals. The methodological basis of the study is the functional-dynamic approach. Structural and spatial analysis of phenological network in landscape provinces of the Urals has allowed to reveal its specificity expressed in branching, but irregularity and inconsistency of landscape diversity. The unit of typological classification of landscapes, optimally reflecting specificity of territory and serving as a basis for geographical binding of a regional phenological network is offered. Key criteria of geographical representativeness of the phenological network reference points, i.e. typicalness, landscape diversity, consideration of anthropogenic differentiation, determining the adequacy of the obtained data, are presented. The article considers the importance of phenological network for functioning of the system of specially protected natural territories and for optimization of monitoring of dynamics of natural complexes in the aspect of sustainable development of the region.

KEYWORDS: phenological network; landscape substantiation; geographical representation; protected areas, Ural.

Формирование ландшафтной структуры территории происходит в процессе длительной смены состояний природных комплексов в ходе динамического и эволюционного

развития. Мозаичность ландшафтной структуры обусловлена природными и антропогенными факторами формирования, эмерджентными эффектами и неоднородностью процессов и географического контекста. Состояние геосистем с этих позиций рассматривается как пространственно-временная однородность, выделяемая по критериям сохранения состава и соотношения системообразующих элементов и ведущих процессов. Одной из важных характеристик геосистем является сезонная динамика, выражающаяся в ритмической смене непродолжительных состояний в рамках годичного цикла, причиной которых являются внутригодовые изменения теплового и водного режима. В логарифмическом масштабе сезонно-динамические состояния относятся к кратковременным и измеряются периодом в 100 лет [3].

Изучение сезонно-динамических состояний сопряжено с применением методов исследований, основанных на сборе, обработке и анализе существенного массива первичных данных, отобранных по ряду параметров. Сбор информации осуществляется в пределах фенологической сети, которая представляет собой совокупность географически репрезентативных опорных пунктов и ключевых участков, равномерно расположенных в типичных условиях региона. Длительность рядов наблюдений и географическая репрезентативность сети наблюдательных пунктов служит критерием достоверности полученной информации и кондиционности результатов выполняемых исследований. Основой получения данных для изучения сезонной динамики служит Фенологическая сеть Русского географического общества (РГО), которая объединяет инициативных корреспондентов-наблюдателей на территории России и в странах бывшего СССР. Они занимаются сбором первичных данных по единой программе [2]. Данные многолетних фенологических наблюдений добровольной фенологической сети, существовавшей в XX веке – единственный массовый и сопоставимый источник информации о реакции живой природы на изменения климата регионов России, в том числе и для Урала. Результаты многолетних наблюдений фенологической сети хранятся в Архивах РГО, размещенных в Фенологическом центре БИН РАН им. А.Л. Комарова в г. Санкт-Петербурге и представляют информацию по административным единицам Урала и Приуралья за период с 1923 по 2008 годы. Инвентаризация архивных материалов даже при первичном рассмотрении позволяет констатировать недостаточную плотность наблюдательных пунктов, фрагментарность информации по рядам и элементам биоты. Таким образом, несмотря на важность накопленного фактического материала, его недостаточная полнота обусловлена эмпирическим характером формирования сети без специального ландшафтного обоснования.

Теоретической основой ландшафтного обоснования фенологической сети служат функционально-динамический и исторический подходы. Относительная сложность создания географически репрезентативной территориальной модели обусловлена спецификой современной пространственной организации, сложившейся исторически. Фенологическая сеть формируется на основе постоянных или временных пунктов наблюдения, которые имеют привязку либо к местам локализации корреспондентов-наблюдателей в антропогенно-измененных селитебных территориях; либо расположены в пределах особо охраняемых природных территорий, осуществляющих фенологические исследования. При описании сезонной ритмики наибольшую ценность имеют длинные ряды наблюдений, сопоставимые с характерным временем развития геосистем. Подобные ряды фенологических наблюдений накоплены классическим или первичным методом группы регистраторов срока посредством фиксации даты наступления явления на определенной территории [2, 6, 7]. Как правило, длительность исследования зависит от преемственности фенологических исследований, то есть связана с субъективными факторами. Прекращение деятельности исследователя приводит к окончанию фенологического ряда.

Наиболее полные сведения предоставляют особо охраняемые природные территории, действующие не инициативно, а в соответствии с планом научной работы. Расположенные в типичных природных условиях они отражают ландшафтное разнообразие и функционируют по единой программе наблюдений. К числу наиболее надежных источников фенологических

данных относятся заповедники, обязательная научная деятельность которых осуществляется по программе Летописи природы. Накопленный ими фактический материал документального характера содержит информацию о состоянии и динамике природных явлений и процессов, отвечает требованиям достоверности, массовости, репрезентативности и многолетней преемственности.

Реализация требования географической репрезентативности при проектировании фенологической сети достигается посредством целенаправленного ландшафтного обоснования рационального размещения опорных пунктов. Ведущую роль при этом играет ландшафтный принцип, исходным теоретическим положением которого служит необходимость отражения в сети всех характерных природных комплексов определенного типа и таксономического ранга с позиций учета ландшафтного разнообразия [1]. Предпосылкой развертывания фенологической сети является изучение ландшафтной структуры территории; схема физико-географического районирования и ландшафтная карта, отражающая ландшафтное разнообразие региона, используются при этом в качестве объективной основы для выбора опорных пунктов и единиц учета.

Ключевым вопросом в этом плане является выбор географической основы, позволяющей организовать всю региональную фенологическую сеть и в то же время определить местоположения конкретных пунктов наблюдения. На современной стадии исследования для этих целей используются результаты мелкомасштабного физико-географического районирования, на основе которых определяется иерархический ранг геосистемы, отвечающей цели анализа сезонной динамики [2]. Как правило для таких исследований применяется уровень ландшафтной области или ландшафтной провинции.

Ландшафтная область, включающая природные комплексы одной аazonальной страны, однородные по зональным и секторным особенностям, характеризуется основными типичными характеристиками гидротермических показателей: планетарным количеством тепла и влаги и их соотношением, т. е. энергетическими предпосылками для протекания физико-географических процессов. По странам изменяются главные черты геологического строения и рельефа и, следовательно, основные вещественные предпосылки для протекания этих процессов. Кроме того, геолого-геоморфологические факторы вносят существенные коррективы в секторно-зональный гидротермический фон, перераспределяя планетарные количества тепла и влаги по формам и элементам рельефа. Особенно велика роль геолого-геоморфологических факторов в горах, где зональность и секторность сильно осложняются высотной поясностью и проявляются в зональных и секторных типах ее структуры [4].

Ландшафтная область, особенно выделяемая в горах, представляет собой достаточно крупное и закономерно разнородное территориальное образование. Например, таежные и лесостепные области Урала включают не только горную полосу, но и предгорья, и Зауральский пенеппен. Поэтому часто в качестве основной физико-географической единицы для анализа сезонной динамики выбирают единицу более низкого ранга - ландшафтную провинцию. Эта геосистема объединяет природные комплексы, сходные по подзональным, секторным и неотектонико-орографическим особенностям. Геолого-геоморфологическая основа провинций характеризуется преобладанием одного морфометрического типа горного или равнинного рельефа, обусловленного общностью неотектонического режима; а в горах сходством структуры высотной поясности. Ландшафтные провинции обособляются в результате пространственного наложения факторов обособления тектогенных краев, подзон и климатических подсекторов.

Пространственный анализ сложившейся фенологической сети Урала на уровне ландшафтных провинций позволяет сделать вывод о нерепрезентативности размещения пунктов наблюдения по территории страны. Опорные пункты имеют разную форму организации — это временные объекты вблизи мест проживания наблюдателей, либо постоянные пункты на территории государственных природных заповедников. Число опорных наблюдательных пунктов по провинциям изменяется, причем вне связи с типичностью местоположений. Например, в степной ландшафтной области Исетско-Уйская

провинция Зауральского пенеплена представлена одним пунктом, расположенным в пойме реки Санарка, что не отражает типичных зональных условий на плакорах. Аналогичная ситуация складывается в Западной предгорно-среднегорной провинции Южного Урала, где также расположен только один пункт наблюдений, однако его надежность выше, благодаря статусу – он размещен на территории заповедника Шульган-Таш. Более разветвленная сеть фенопунктов характерна для Южно-Уральской возвышенной провинции, где представлено 6 пунктов наблюдения во всех генетических типах природных комплексов – 4 плакорных, 1 пойменный и 1 антропогенный. В пределах Урало-Тобольской провинции имеются ряды также 6 пунктов, однако преобладают данные учета в условиях селитебных антропогенных комплексов – 2; зональные и интразональные типы представлены каждый одним пунктом, что также не отражает ландшафтного разнообразия условий данной провинции. В Предуралье проанализированы 11 пунктов наблюдения – 4 в плакорных условиях, 5 в пойменных и 1 в антропогенных.

Существенная величина территории единиц районирования, а главное закономерная разнородность внутренней структуры, не позволяют выполнить детальный анализ факторов, определяющих тренды наступления сезонных явлений внутри провинций. Результаты районирования отражают общие черты – тенденции изменяющихся показателей и не позволяют учесть весь комплекс факторов, влияющих на количественные параметры, характеризующие динамику геосистем.

В качестве основного таксона для планирования фенологической сети и выбора пунктов наблюдения наиболее целесообразно использовать типологический подход вообще и ландшафтное картографирование в частности. Ландшафтная карта позволяет оперативно и детально изучать ландшафтное строение значительных по площади территорий, учитывать его при организации региональной фенологической сети и использовать для выбора точек наблюдения. Результаты ландшафтного картографирования позволяют теоретически определить достаточность объектов, необходимых для учета и отображения ландшафтного разнообразия в пунктах фенологической сети и упрощают решение вопроса о местоположении точек наблюдения внутри ландшафтных единиц. Наименьшим выделом, нуждающимся в выделении эталонных участков для проведения фенологических наблюдений, является обязательный низший таксон типологической классификации – вид ландшафтов. В то же время, следует отметить, что в связи со спецификой истории формирования ландшафтных школ в России и несмотря на уровень развития науки и практики, до сих пор отсутствует общепринятая детальная ландшафтная карта Урала. Разработанные ландшафтные карты административных областей различаются подходами к построению классификаций природных комплексов и содержанием.

Практическая реализация ландшафтного принципа достигается посредством одновременного применения следующих «ключевых» критериев размещения опорных пунктов: типичности, ландшафтного разнообразия, ландшафтной целостности, учета антропогенной дифференциации. На стадии планирования фенологической сети обязательными представляются 3 этапа ландшафтных исследований: инвентаризационный, оценочный и целевой.

Инвентаризационный этап: 1) изучение и анализ ландшафтной структуры, включая структуру антропогенных модификаций ландшафтов – выполняется на основе имеющихся карт физико-географического районирования и ландшафтных карт; 2) сбор, оцифровка и анализ фенологических данных – привязка пунктов наблюдения, установление феноиндикаторов и определение длительности рядов; 3) изучение сложившейся сети опорных пунктов с целью выявления особенностей структурной и пространственной организации; Оценочный этап: 1) оценочный многофакторный анализ на основе результатов ландшафтного картографирования; 2) оценка репрезентативности существующей фенологической сети с целью выявления ландшафтных единиц, не представленных опорными пунктами и нуждающихся в первоочередном их выделении; 3) определение кондиционности данных, исходя из длительности представленных рядов наблюдений и

фенопоказателей. Целевой этап: 1) обоснование участков, соответствующих критериям ландшафтного принципа; 2) разработка методики, обеспечивающей регулярность сбора, научного анализа данных и моделирования на основе качественных и количественных показателей.

Результаты инвентаризационного и оценочного исследования фенологической сети в провинциях Урала позволяют выявить ее недостатки и определить направления и пути оптимизации. Отсутствие целенаправленного ландшафтного обоснования приводит к нерациональности пространственной организации. Сформировавшаяся фенологическая сеть не имеет закрепленной организационной структуры, поэтому она неуправляема и иерархически плохо выстроена. Фенологическая сеть Урала не отражает ландшафтного разнообразия, поэтому важные тенденции сезонной динамики, имеющие значение для развития социально-экономической структуры региона, не учитываются в полной мере, что негативно сказывается на ее эффективности.

Одним из способов оптимизации фенологической сети служит встраивание пунктов наблюдений в действующую систему особо охраняемых природных территорий. В настоящее время фенологические исследования проводятся лишь заповедниками, реже национальными парками. Региональные системы особо охраняемых природных территорий, представленные в России огромным числом объектов, обладают высоким научным и организационным потенциалом для проведения ландшафтных фенологических исследований. Иерархическая структура, управляемость, долгосрочная юридическая защита – важные функциональные критерии, характерные для системы ООПТ и недостающие современной фенологической сети. Система ООПТ России включает более 70 категорий охраняемых объектов федерального, регионального и местного значения с разным режимом охраны: природные парки, ландшафтные заказники, лесные парки, памятники природы, охраняемые ландшафты и др. Активизация деятельности региональных ООПТ через выполнение регулярных фенологических исследований по единой программе и методике – важный способ повышения эффективности деятельности и системы ООПТ, и фенологической сети. Расширение функционала природных резерватов при оптимальном сочетании природоохранной и научно-исследовательской функции может служить показателем эффективности деятельности.

Данные архивов РГО могут служить основой для расчета трендов наступления явлений, однако в быстро меняющихся условиях существует необходимость увеличения пунктов феносети путем обоснования их размещения в типичных природных комплексах определенного типа и таксономического ранга в соответствии с ландшафтным разнообразием. С этой целью необходимо выполнение детальных ландшафтных исследований и анализ ландшафтных карт. Количественные методы анализа, например, установление индекса ландшафтного разнообразия, позволят определить разумную достаточность опорных пунктов наблюдения, необходимых для каждой ландшафтной провинции. Организационную функцию управления фенологической сетью на региональном уровне должна выполнять одна структура, которая разрабатывает методологию, методику проведения исследований и анализа тенденций динамики и эволюции природных комплексов. Организации эффективной системы фенологического мониторинга на Урале и в России будет способствовать создание и активизация деятельности региональных фенологических комиссий, играющих организационную роль в региональных отделениях РГО, курирующих поступление информации, выполняющих обработку данных, обладающих возможностью популяризировать фенологические наблюдения и публиковать календари погоды. Координация и упорядочение работы по обработке и анализу данных, включая гидрометеорологическую информацию, позволят осуществлять оценку и прогноз изменений в сезонной ритмике природных комплексов, а также оценку антропогенного воздействия на изменение ритмики сезонных процессов и явлений.

При таком подходе современные фенологические исследования ландшафтной структуры смогут способствовать решению фундаментальной проблемы выявления механизмов пространственно-временной организации и динамики ландшафтов.

Работа выполнена в рамках гос. задания ИС УРО РАН (№ГР АААА-А21- 121011190016-1)

Список литературы:

1. Гурьевских О.Ю. Ландшафтное проектирование системы особо охраняемых природных территорий как компонент региональной политики. Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти члена-корреспондента РАН А.Н. Антипова. 2019. С. 815-818.
2. Гурьевских О.Ю., Иванова Ю.Р. Скок Н. В., Юровских А. М. Исследование сезонной динамики ландшафтов Урала в парадигме функционально-динамического подхода: история и современность // Географический вестник. № 1. 2021. С.16-30.
3. Исаченко Г.А. Концепции многолетней динамики ландшафтов и вызовы времени // Вопросы географии.: Сб. 138: Горизонты ландшафтоведения. М.: Кодекс, 2014. С. 215-232.
4. Прокаев В.И. Физико-географическое районирование: учеб. пособие для студентов пед. ин-тов. М.: Просвещение, 1983. 176 с.
5. Физико-географическое районирование и ландшафты Свердловской области / Гурьевских О.Ю., Капустин В.Г., Скок Н.В., Янцер О.В., Под ред. Гурьевских О.Ю. Екатеринбург: ФГБОУ ВО Урал. гос. пед. ун-т, 2016. 280 с.
6. Янцер О.В., Скок Н.В. Фенологические методы исследований в изучении динамики ландшафтов: общий обзор // Вестник Башкирского университета. 2016. Том 21. №1. С. 91-100.
7. Khoroshev A.V., Dyakonov K.N. (Eds.), Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales, Landscape Series 26.-Springer Nature Switzerland AG, 2020. 439 p., DOI 10.1007/978-3-030-31185-8.

© Гурьевских О.Ю., 2022

Данилов Алексей Николаевич,

кандидат биологических наук, доцент, Уральский государственный педагогический университет; 620017, Россия, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26; e-mail: aldan-rex@mail.ru

Грачев Сергей Викторович.

специалист по учебно-методической работе, Уральский государственный педагогический университет; 620017, Россия, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26; e-mail: sergey.grachev.1997@mail.ru

СЕЗОННЫЕ ОРНИТОЛОГИЧЕСКИЕ ЭКСКУРСИИ КАК МЕТОД ОБУЧЕНИЯ ОСНОВАМ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

АННОТАЦИЯ. Рассматриваются перспективы организации экскурсий со школьниками в природных условиях, при изучении сезонных явлений в жизни птиц. Предложены основные направления и примерная тематика экскурсий, в ходе которых будет формироваться и развиваться фенологическая компетентность обучающихся.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Сезонные экскурсии, орнитофенология, обучение

SEASONAL ORNITHOLOGICAL EXCURSIONS AS A METHOD OF STUDIES THE BASICS OF PHENOLOGICAL RESEARCH

Danilov Alexey Nikolaevich

Candidate of Biology, Associate Professor, Ural State Pedagogical University; Ekaterinburg, Russia

Grachev Sergey Viktorovich

Specialist in educational and methodical work, Ural State Pedagogical University; Ekaterinburg, Russia

ANNOTATION. The prospects of organizing excursions with schoolchildren in natural conditions, while studying seasonal phenomena in the life of birds are considered. The main directions and approximate topics of excursions are proposed, during which the phenological competence of students will be formed and developed.

KEYWORDS: Seasonal excursions, ornithophenology, learning

В настоящее время в связи с необходимостью повышения уровня общего образования, системного и интегрированного подходов к реализации биологического и географического образования, развития личностно – ориентированной направленности обучения, эмоционально – ценностного отношения к природе с особой остротой встал вопрос о совершенствовании форм обучения и воспитания в курсе биологии и географии. Одной из таких форм является экскурсия в природу [6,8].

Изучение явлений и объектов природы невозможно без активного познания, непосредственного наблюдения их в природе, выявления связей между ними, осмысление которых играет важную роль в формировании научного мировоззрения, развитии логического мышления обучающихся.

В последние годы развивающее обучение приоритетно, и школа должна обеспечить необходимый для современной жизни уровень развития подрастающего поколения. Экскурсии в природу дают большие возможности для развития разных сторон личности ребёнка: познавательной, эмоциональной, нравственной [8]. Изучение комплекса взаимосвязанных процессов, происходящих в природе, играет большую роль в формировании экологического сознания. Обучающиеся могут увидеть роль каждого из

элементов целостной системы, оценивать антропогенные воздействия на природу и прогнозировать следствия изменений, происходящих в системе. Эффективность применения этой формы обучения зависит и от биологических знаний и натуралистических умений педагога; от его умения включать учащихся в активную познавательную деятельность.

Экскурсия (от лат. *excursio* — поездка, вылазка), посещение достопримечательных чем-либо объектов (памятники культуры, музеи, предприятия, местность и т.д.), форма и метод приобретения знаний [4].

Учебно-методическое значение экскурсии заключается в том, что она даёт возможность напрямую ознакомиться с миром природы и наблюдать изменения в жизни животных в естественной обстановке. Экскурсия позволяет увидеть в природе не отдельные разбросанные формы и явления, но единое целое, где отдельные части тесно связаны и взаимно обусловлены. Кроме того, изучение сезонных явлений в природе дает хорошую подготовку и к дальнейшим самостоятельным занятиям в этом направлении. [6, 7, 9].

Освоение обучающимися навыков проведения сезонных фенологических наблюдений за основными этапами жизни птиц в течение года поможет в изучении методов фенологических исследований [2,3,11]. Мы предлагаем использовать сезонные орнитологические экскурсии как основу для развития фенологических компетенций обучающихся.

Материалы самостоятельных работ школьников являются удобным образцом для теоретического объяснения методов и форм организации полевой исследовательской деятельности по фенологии, а также для организации самостоятельной проектной работы обучающихся общеобразовательных и профильных классов по биологии.

Интересные результаты можно получить в ходе проведения экскурсий в разное время года. [6, 7].

Дело в том, что сезонные изменения численности и видового орнитофауны являются хорошим интегральным показателем динамики климатических циклов и особенностей функционирования экосистем всех уровней организации в разные годы [6,8]

Следует отметить, что предложенный нами подход является продолжением разработок, проводимых в Уральском государственном педагогическом университете [1,2,3,7].

Приведем некоторые из тем экскурсий орнитологической направленности, подготовленные нами для лесных и лесостепных ландшафтов Урала и Зауралья. При проведении экскурсий рекомендуется использовать справочники-определители птиц [10].

Зима

1. Птицы населенных пунктов, их жизнь питание, стаи, ночевки. В этой же теме – наблюдения на кормовых столиках.
2. Зимняя экскурсия в природу (оседлые и зимующие птицы). Характерные примеры питания (дятлы, воробьи, синицы и т.д.).
3. Первые весенние явления в жизни птиц (март). Пение зимних птиц, весенние повадки, пары.

Весна и лето

1. Первые прилетные птицы (начало апреля). Дрозды, жаворонки, зяблики и др.; их жизнь в первые дни прилета.
2. Весенние явления в жизни птиц (май). Пение, пляски, токовые полеты и пр.
3. Птицы сада и парка (май — июнь).
4. Вечерняя экскурсия. Засыпание птиц (конец мая).
5. Ночная экскурсия. Пробуждение птиц (май).
6. Летнее распределение птиц по местам гнездовья (конец мая- июнь).
7. Гнездовые явления у птиц (июнь). Ссоры, постройка гнезда, насиживание, гнездовые инстинкты птенцов и пр.
8. Птицы в июле. Слетки, выводки, кормежка слётков, пение молодняка, линька и пр.

Осень

1. Лес ранней осенью (август – начало сентября). Общая тема.
2. Опушка леса в сентябре – октябре, локализованная экскурсия, наблюдения на водопое.
3. Стайность и кочевки у птиц (август—ноябрь). Стаи и одиночки, состав встреченных стай и их поведение, смешанные стаи из нескольких видов, взаимоотношения птиц, стаи синиц, зябликов, дроздов, зимующих птиц.
4. Отлет птиц осенью. Их направление и поведение, остановки.
5. Зимующие птицы осенью. Их прилет, наблюдения за стаями, наблюдения на местах их кормежки, свиристели, снегири, щуры, чечетки и др.

Структура экскурсии

Исследовательская экскурсия включает в себя несколько этапов: подготовка, сбор материала, обработка материала, сравнение результатов исследования, применение полученных результатов.

Подготовка к экскурсии начинается с подготовки тематического плана, определения цели, места и времени проведения экскурсии. Важно учитывать обилие учитываемого материала исследования и безопасность маршрута. Нужно тщательно продумать содержание экскурсии, сопоставить сложность исследования с уровнем школьного образования соответствующего класса.

В нашей экскурсии есть две части теоретического характера – вступительная и заключительная беседы. Во вступительной беседе учитель рассказывает ученикам общие сведения о мире птиц, а также теоретические основы методов наблюдений за ними. На основе данных по орнитофауне Челябинской области [5] можно подготовить образцы-тренажёры для наглядного объяснения сущности полевых учётов. Заключительная беседа может быть организована по-разному: в виде викторины, в вопросно-ответной форме, теста, семинара, устного или письменного отчёта, публичного выступления; она направлена на закрепление полученных знаний и формирования у обучающихся способности представить полученные знания и результаты как друг другу, так и широкой публике.

В основной части экскурсии учитель на практике объясняет ученикам методы проведения фенологических наблюдений в дикой природе, демонстрирует различные элементы поведения и физиологии пернатых, совместно проводит наблюдения за количеством видов и особей каждого вида.

На этапе обработки собранного материала учитель рассказывает о способах систематизации полученных данных и их статистической обработки. Затем проводят сравнение с данными других авторов, и делают оформленный вывод о состоянии орнитофауны исследуемой территории.

Таким образом, экскурсия является хорошим средством для организации практических занятий по биологии, и представляет собой более совершенную форму усвоения учащимися новых знаний – этот эффект достигается целостным и непосредственным изучением учащимися объекта исследования.

Использование в организации экскурсии заранее собранных материалов наблюдений, выступающих в качестве образца, помогает детям в более понятной и доступной форме планомерно освоить методы исследовательской деятельности.

Список литературы:

1. Батманов В.А. Календарь природы Свердловска и его окрестностей / В.А. Батманов.– Свердловск : Свердловское книжное изд-во, 1952. – 46 с.
2. Батманов В.А. Опыт применения интегрального и экометрического методов фенологического наблюдения в различного рода исследованиях / В.А. Батманов, М.К. Куприянова, Т.И. Мухамедзянова, З.Г. Щенникова // Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока, ч. 1. – Иркутск: Сибирское книжное изд., 1967. – С. 98-121

3. Батманов, В.А. Заметки по теории фенологических наблюдений / В.А. Батманов // Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока, ч. 1. – Иркутск: Сибирское книжное изд., 1967 –С. 7 - 30.
4. Большая советская энциклопедия :т. 63 / гл. ред. О. Ю. Шмидт. — М.: Советская энциклопедия – ОГИЗ,1933. С. 316.
5. Грачев С.В. Орнитофауна лесостепных колков Октябрьского района Челябинской области. // «Урал: природа, история, культура». Екатеринбург. 2017. С. 14-16.
6. Данилов Н.Н. Изучение животного мира родного края /Данилов Н.Н., Шварц С.С., Павлинин В.Н. Изд-во "Учпедгиз"- Москва, 1958. - 236 с
7. Куприянова М.К. Сезонные наблюдения в природе: методическое пособие для учителей / М.К. Куприянова, Н.Б. Мельник, З.Г. Щенникова. – Екатеринбург, 1992. – 126 с
8. Ламехов, Ю.Г. Организация работы секции орнитологии научного общества учащихся /Ю.Г. Ламехов, Е.А. Ламехова// Вестн. Запорож. нац. ун-та.– Запорожье, 2008. – №1.– С. 146–51.
9. Райков Б. Е., Римский-Корсаков М. Н. Зоологические экскурсии. — Изд. 6-е ,испр. и доп. — Л. : Учпедгиз, Ленингр. отд-ние, 1956. — 694 с. : ил.
10. Рябицев В.К. Птицы Сибири: справочник-определитель: в 2 т./ В.К. Рябицев. – Москва; Екатеринбург: Кабинетный учёный, 2014. Т. 2. – 452 с. : ил
11. Янцер О. В. Общая фенология и методы фенологических исследований : учебное пособие / О.В. Янцер, Е.Ю. Терентьева ;Урал.гос. пед. ун-т, Географо-биолог.ф-т – Екатеринбург : [б. и.], 2013. – 216 с

© Данилов А.Н., Грачев С.В., 2022

Золкин Сергей Юрьевич,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; 127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: szolkin@mail.ru

КАК НЕДОСТАТКИ В РАБОТЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КЛИМАТА МОГУТ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ПОВЛИЯТЬ НА РАЗВИТИЕ И ЦВЕТЕНИЕ НЕКОТОРЫХ РАСТЕНИЙ

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрены положительные и отрицательные стороны использования автоматизированной системы контроля климата в большой новой оранжерее «Тропический лес» Главного ботанического сада РАН (ГБС РАН). Оценено влияние стабильной работы или поломки автоматизированных систем на развитие растений на ботанико-экологической экспозиции «горные леса тропиков Нового Света». Проведен статистический анализ показаний температуры в течение года в новой оранжерее ГБС РАН. Отмечено, что некоторые недоработки в оптимальном функционировании автоматики, более благоприятно для роста и цветения в защищенном грунте тропических горных растений, чем растений из низинных дождевых лесов. Приведены сравнительные фенологические данные по цветению ряда представителей горных тропических лесов в оранжереях БИН РАН, старой фондовой оранжерее ГБС РАН и в новой фондовой оранжерее ГБС РАН. Результаты показывают, что в новой оранжерее ГБС РАН большинство видов из горных тропических лесов имеют больший период цветения, смещающиеся сроки цветения на другие периоды, а некоторые цветут 2-3 раза в год, что больше согласуется с фенологическими наблюдениями, сделанными в местах естественного произрастания этих видов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фенология, фенологические наблюдения, цветение, оранжерея, автоматизация, среднегодовая температура, растения, тропики, горные леса

Zolkin Sergei Yurievich,

Candidate of Biology, Senior Researcher, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

HOW INCORRECT WORK OF AUTOMATED CLIMATE CONTROL SYSTEMS CAN POSITIVELY IMPACT ON THE DEVELOPMENT AND FLOWERING OF SOME PLANTS

ANNOTATION. The positive and negative aspects of using an automated climate control system in the large new greenhouse «Tropical Forest» of the Main Botanical Garden RAS (MBG RAS) are discussed. The impact of stable operation or breakdown of automated systems on the development of plants from the botanical and ecological exposition «Mountain forests of the New World tropics» is marked. A statistical analysis of temperature readings during the year in the new greenhouse of the MBG RAS is carried out. It is noted that some incorrect work in the optimal functioning of automation are more favorable for the growth and flowering of tropical mountain plants in protected soil than plants from lowland rain forests. Comparative phenological data on the flowering of a number of representatives of mountain rainforests in the greenhouses BIN RAS, the old greenhouse MBG RAS and in the new greenhouse MBG RAS are presented. The results show that in the new greenhouse of the MBG RAS, most species from mountain rainforests have a longer flowering period, shifting flowering periods to other periods, and some flowering 2-3 times a year, which is more similar with the phenological observations noted in the places of natural origin of these species.

KEYWORDS: phenology, phenological observations, flowering, greenhouse, automation, average annual temperature, plants, tropics, mountain forests

В 2009 году первые две сотни тропических растений из нескольких отделений старого здания фондовой оранжереи ГБС РАН были перенесены в рядом построенное здание тропического блока новой фондовой оранжереи. Среди других оранжерей России это здание является самым высоким (до 33,7 м в коньке), с полным остеклением, и высадкой растений в грунт на основных экспозициях [4]. Хотя спроектировано здание было ещё в 1988-1992 годах, но из-за малого финансирования на первых этапах строилось долго – почти 20 лет, изначально к 1996 году были смонтированы только каркас из металлоконструкций, а активная фаза строительства и проведение коммуникаций началось в 2002 году [5]. Изначально Новая Фондовая оранжерея проектировалась как экспозиционная, с целями научной и организационно-образовательной работы [3]. Были созданы ландшафты с разным рельефом, возвышениями, дорожками, гротами, искусственными водными конструкциями – реки и водопада. Согласно научному плану, разработанному и утвержденному на Ученом Совете ГБС РАН в 2009 году, высота и объем здания тропического блока новой оранжереи, конструктивные особенности являются оптимальными для отдельных ботанико-географических и ботанико-экологических экспозиций с имитацией многоярусного тропического леса, и демонстрации посетителям всего многообразия природных фитоценозов экваториального и субэкваториального климата.

Большинство видов тропического происхождения при культивировании в нашей умеренной полосе требуют схожести условий интродукции к условиям их произрастания в природе путем регулирования режимов техническими способами. На развитие тропических растений, прохождение фенологических фаз заметно влияют особенности нашей умеренной зоны (длинный день летом и короткий зимой, переменная в течение года интенсивность света, температура в летний и зимний периоды). Часть из этих влияний может быть значительно уменьшена путем строгого температурного контроля зимой, дополнительной верхней досветки в темное время года. К концу 2007 года было утверждено техническое задание на автоматизацию технологических процессов и диспетчеризацию в Новой оранжерее. Целью автоматизации является поддержание параметров, температурно-влажностного режима в блоках оранжереи (субтропическом и тропическом) необходимых для технологических процессов выращивания растений. В отделении «Тропический лес» были установлены следующие параметры для автоматизированных систем: теплый период – температура днем +22..+25°C, ночью +20..+22 °C, относительная влажность 80..90%, холодный период - температура днем +18..+22°C, ночью +16..+18°C, относительная влажность 70..80%. Они были рассчитаны согласно оптимальным для растений температурно-влажностным характеристикам в течение года [2]. Большинство автоматизированных систем управления уже работало к времени посадки тропических растений в грунт в 2009 году, хотя окончательный монтаж и запуск всех технологических систем управления в тестовом режиме (например, системы туманообразования) произошел не ранее 2011 года.

Начиная с конца 2011 года и по настоящий момент в отделении «Тропический лес» проводятся фенологические наблюдения за всеми выверенными таксонами (на начало 2022 года это более 800 таксонов). Для наблюдения всех тропических растений учитывались основные две фенологические фазы – цветения и плодоношения, иногда учитывалось обсеменение, для небольшой части листопадных растений из формаций муссонных лесов, и ряда растений второго яруса влажных тропических лесов – возобновление вегетации и отрастание побегов. Для фенофазы цветения учитывались подфазы бутонизации (если заметно), начала цветения (обнаружение первого раскрывшегося цветка), конца цветения (не обнаружен ни один цветок). Для фенофазы плодоношения принимались во внимание подфазы завязывания и созревания плодов. Для тропических растений есть своя специфика в фенологических наблюдениях [1; 6]. Так в данном исследовании было учтено, массовое цветение или единичное, продолжительность цветения, количество цветений и плодоношений таксонов в течение года, одновременность цветения и плодоношения, вообще возможность цветения в искусственных условиях и т.д. Все фенологические данные по

каждому таксону за разные года обрабатывались и сравнивались. Документирование осуществлялось и с помощью фотосъемки. Каждый полученный цифровой файл (например, *Brunfelsia nitida* 2021-1.xlsx) был еще раз скопирован, и один из них вставлялся в папку по фенологическим наблюдениям в данный день (например, 03.04.2021), а другой помещался в папку семейства, к которому относится данный таксон (например, Solanaceae). Таким образом, если в наших целях было посмотреть, какие таксоны цвели и/или плодоносили в конкретный день – можно задать путь через папки: фенология-год (например, 2021)-день (например, 03.04.2021). А если узнать, как часто цветет или плодоносит конкретное растение, особенности цветения, интенсивность и т.д. – задается путь через папки систематика – семейство (например, Solanaceae), в которой, например можно найти файлы *Brunfelsia nitida* 2015-1 бутон.(бутонизация) , *Brunfelsia nitida* 2021-1 обил.цв.(массовое цветение), *Brunfelsia nitida* 2021-2 оконч. цв. (или уже единичное цветение), *Brunfelsia nitida* 2021-3 втор.цвет. (повторное цветение).

Температура по психрометрическому гигрометру (измеряется температура и влажность) отмечалась ежедневно три раза в день – на 9:00, 12:00 и 16:00. Показания заносились садовыми рабочими и агрономами отделения в специально выделенный для этой цели журнал. Далее все эти данные переносились в электронную форму. В программе Excel создавался отдельный файл на каждый месяц показаний температуры (например, март 2022, xls). Методами математической статистики подсчитывались следующие параметры температуры за один месяц – средней месячной дневной температуры, абсолютный максимум, среднемесячный максимум, абсолютный минимум, среднемесячный минимум. Эти же параметры подсчитываются далее за год наблюдений, два года и т.д. В качестве примера ниже (см. табл. 1) приведены полученные статистические данные наблюдений температуры за последние полтора года наблюдений – с января 2021 по июнь 2022 года.

Таблица 1

Статистические результаты ежедневных наблюдений за температурой в отделении «тропический лес» новой фондовой оранжереи ГБС РАН (2021-2022)

°Месяц	9:00 ср., °C	12:00 ср., °C	16:00 ср., °C	Ср.мес. дн., °C	Абсол. макс., °C	Ср.мес. макс., °C	Абсол. мин., °C	Ср.мес. мин., °C
Январь 2021-2022	23,0	23,3	23,0	23,1	24,5	23,9	21,0	22,1
Февраль 2021-2022	22,1	23,7	24,4	23,4	30,0	25,8	18,0	21,7
Март 2021-2022	22,8	25,0	25,8	24,5	34,0	28,3	17,0	20,3
Апрель 2021-2022	23,3	24,4	24,8	24,0	35,8	28,5	21,0	21,5
Май 2021-2022	24,0	25,2	25,2	24,5	35,0	29,2	20,0	21,3
Июнь 2021-2022	23,3	24,5	25,1	24,0	32,0	28,3	18,0	20,2
Июль 2021	23,3	24,6	25,8	24,7	30,0	29,3	18,0	20,3
Август 2021	23,0	23,5	24,3	23,7	28,0	27,0	18,0	20,3
Сентябрь 2021	22,3	23,3	23,9	23,1	28,3	26,5	21,1	21,3
Октябрь 2021	21,7	24,3	24,0	23,1	31,0	26,7	21,0	21,3
Ноябрь 2021	21,3	21,8	22,1	21,4	26,4	22,8	18,5	19,2
Декабрь 2021	22,2	22,7	22,9	22,6	25,0	24,0	19,5	21,0
За год	22,7	23,9	24,3	23,5	35,8	26,7	17,0	20,9

Из таблицы видно, что среднее значение температуры днем в течение года удерживается от 21,4 °С (ноябрь) до 24,7 °С (июль), что в пределах заданной нормы дня для холодного и теплого периодов. По показаниям среднемесячного минимума первенство опять за ноябрем – 19,2 °С, при этом абсолютный минимум в 17,0 °С показан в марте. По показаниям среднемесячного максимума теплее всего в июле -29,3°С, хотя абсолютный максимум в апреле - 35,8 °С, и в соседние месяцы абсолютный максимум в марте – 34,0 °С, и в мае - 35,0 °С, что тоже больше, чем в остальные месяца года. Стоит также обратить внимание, что и показатели абсолютного минимума для июня, июля и августа равны 18,0 °С, в то время как для мая абсолютный минимум 20,0 °С, а в апреле 21,0 °С. Это данные свидетельствуют о том, что в отдельные дни апреля, марта и мая температура достигает значений, выше положенных и объяснить этот факт можно, исходя из особенностей работы системы автоматизации. Причина повышенной температуры в оранжерее в отдельные дни марта-мая кроется в том, что все эти дни – солнечные, с уже ярким и сильным светом, но тем не менее недостаточным для прогрева воздуха на улице - еще прохладно, меньше 16 °С, и расположенные на фрамугах датчики не дают им открыться автоматически. Поэтому внутри оранжереи в эти дни может быть значительно жарче, и отчасти эту проблема решается механическим открытием отдельных фрамуг. Тем не менее, ежедневная работа автоматизированной системы верхнего полива (дождевания) и обычный шланговый полив в теплое время года способствует дополнительному увлажнению, и небольшому снижению температуры на два-три градуса.

Исследование показало, что некоторые недоработки в оптимальном функционировании автоматики, более благоприятно тропическим горным растениям, чем тем, которые происходят из низинных экваториальных лесов. Так и в местах естественного произрастания растений из нижнего и тем более среднего горного пояса в Новом Свете (особенно в Кордильерах и Андах) фиксируются температуры меньше средних по тропикам в более холодное время года, а также по утрам в теплое время года. С другой стороны, в отдельные дни горные растения испытывают повышенную интенсивность света, по сравнению с растениями в низинных местообитаниях из-за большей солнечной инсоляции, отсутствия больших деревьев верхнего яруса, разреженности и меньших показателей сомкнутости крон, жара от каменистой прогретой почвы. Кроме того, растения на горе могут находиться по разным сторонам света, и для них солнце может показываться либо позже восхода, либо уходит заметно раньше заката. В связи с этим горные тропические растения, по-видимому, лучше адаптируются к зимнему короткому дню умеренной полосы, и для них не так принципиальна, как для растений низинных тропических лесов регулярная верхняя досветка мощными натриевыми лампами в темное время года, которая была отключена по техническим и экономическим причинам в последнее время. Тем не менее, в зимнее время днем на экспозиции «горные леса тропиков Нового Света» достаточно светло, что обеспечивает оптимальная работа другой автоматизированной системы - обогрева купола. В этой системе отопительные регистры, установленные по периферии отделения на разных высотах, не дают залеживаться на крыше снегу, и он быстро тает, стекая вниз по наклонной крыше. Благодаря этому, а также полному остеклению оранжереи, отсутствию рядом крупных посаженных деревьев растения на экспозиции «горные леса тропиков Нового Света» получают больше естественного света. Присутствие рядом с этой экспозицией работающего круглогодично искусственного водопада заметно повышает влажность воздуха и снижает рядом температуру, что так важно для горных тропических растений. Это компенсирует отключение на зиму автоматизированной системы верхнего полива (шланговый полив продолжается), и повышенную температуру вследствие закрытых фрамуг в марте-мае. Благодаря посадкам растений в грунт, хорошему освещению, стабильной работе части автоматизированных систем и отчасти недостатков в работе других автоматизированных систем, на экспозиции «горные леса тропиков Нового Света» многие виды впервые зацвели, и часть из них дали плоды. Сравнительные фенологические данные по цветению ряда представителей горных тропических лесов отражены ниже (табл.2) в

оранжереях БИН РАН (данные по [7]), старой фондовой оранжерее ГБС РАН (данные по [8; 9] и по картотеке) и новой фондовой оранжерее ГБС РАН (оригинальные данные).

Таблица 2

Фенологические данные по цветению ряда представителей горных тропических лесов неотропиков на экспозициях защищенного грунта

Вид	Оранжереи БИН РАН	Старая фондовая оранжерея ГБС	Новая фондовая оранжерея ГБС РАН (данные 2009-2022)
<i>Anthurium elegans</i> Engl. (Araceae)	февраль-ноябрь	Цветет	2015: с 3 февраля по 3 марта
<i>Brunfelsia pauciflora</i> Benth. var. <i>calycina</i> J.A.Schmidt (Solanaceae)	март-апрель	Цветет	2010: 2 марта (един.набл.) 2013: 21 января (един.набл.) 2014: с 8 января по 11 марта, с 27 ноября по 10 декабря 2015: с 8 декабря по 29 декабря 2022: с 23 марта по 31 марта (единичное цветение)
<i>Chamaedorea ernesti-augusti</i> H.Wendl. (Arecaceae)	Не цветет	сентябрь	2015: 9 октября по 21 октября
<i>Chamaedorea oblongata</i> Mart. (Arecaceae)	ноябрь-декабрь	не цветет	2013: с 14 января по 31 января 2014 с 10 декабря по 12 января 2015
<i>Chamaedorea pinnatifrons</i> Oerst. (<i>Chamaedorea concolor</i> Mart.) (Arecaceae)	январь-март	цветет	2013: с 28 января по 25 февраля 2014: с 10 февраля по 11 апреля 2015: с 24 ноября по 1 декабря 2016: с 19 февраля по 26 февраля 2021: с 22 марта по 6 апреля 2022: с 21 февраля по 7 апреля
<i>Eucharis amazonica</i> Linden (Amaryllidaceae)	декабрь-апрель	февраль-март	2013: с 23 января до 11 февраля, с 30 сентября по 6 ноября 2014: с 14 января по 4 февраля, с 4 сентября по 16 сентября 2015: с 24 марта по 21 апреля, с 6 мая по 2 июня, с 10 ноября по 1 декабря, с 29 декабря по 20 января 2016 2016: с 10 марта по 28 марта, с 15 ноября по 28 декабря 2021: с 20 сентября по 8 октября

Результаты показывают, что в новой оранжерее ГБС РАН большинство видов из горных тропических лесов имеют больший период цветения, а иногда значительно смещающиеся сроки цветения на другие периоды. Для *Brunfelsia pauciflora* Benth. var. *calycina* J.A.Schmidt (Solanaceae) выявлены случаи двукратного, а для *Eucharis amazonica* Linden (Amaryllidaceae) трехкратного ежегодного цветения, что больше согласуется с фенологическими данными, отмеченными в местах их естественного произрастания [10]

Список литературы

1. Житков, В. С. К методике изучения ритма развития растений в оранжерее / В. С. Житков // Бюл. Гл. ботан. сада. -1977. - Вып. 106. - С. 26-32.
2. Золкин, С. Ю. Автоматизация технологических систем управления в крупных оранжереях – преимущества и недостатки, влияние на развитие растений / С. Ю. Золкин// Тр. Международной научной конференции «Ботанические сады как центры изучения и сохранения фиторазнообразия», посвященной 140-летию Сибирского ботанического сада Томского государственного университета. - Томск, 2020. – С. 81-83.
3. Золкин, С. Ю. Научное и образовательно-просветительское значение экспозиции отделения «Тропический лес» Новой Оранжереи ГБС РАН / С. Ю. Золкин // Тр. XIII съезда Русского ботанического общества «Современная ботаника в России», Т. III. - Тольятти, 2013. - С. 136-137.
4. Золкин, С. Ю. Опыт создания экспозиций тропических растений в новой оранжерее ГБС РАН / С. Ю. Золкин // Вестник ТвГУ. Серия «Биология и экология».- 2012. – Вып. 27, №23. - С. 79-87.
5. Кузьмин, З. Е. Фондовая оранжерея Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (история, коллекции, исследования) /З. Е. Кузьмин, Б. Н. Головкин, А. С. Демидов, С. Ю. Золкин // М., Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2009. - 194 с.
6. Смирнова, Е. С. Методика наблюдений за растениями в интерьерах / Е.С. Смирнова // Бюл. Гл. ботан. сада. -1980. - Вып. 117. - С. 36-40.
7. Тропические и субтропические растения в оранжереях Ботанического института АН СССР. - Л.: Наука, 1973. - 276 с.
8. Тропические и субтропические растения. Краткие итоги интродукции в оранжерее ГБС. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. - 188 с.
9. Тропические и субтропические растения. Фонды Глав. ботан. сада АН СССР. - М. : Наука, 1969-1976. - Т.1-3.
10. iNaturalist.- URL: <https://www.inaturalist.org> (Accessed 20 July 2022). – Текст : электронный.

Работа выполнена в рамках госзадания ГБС РАН № 075-00745-22-01 по теме «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения» (№ госрегистрации 122042700002-6) на базе УНУ «Фондовая оранжерея».

© Золкин С.Ю., 2022

Зотова Олеся Евгеньевна,

младший научный сотрудник, аспирант, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А.Аврорина; 184209, Россия, г. Апатиты Мурманской области, ул. Ферсмана, 18^А; e-mail: ol-sha@mail.ru

Гончарова Оксана Александровна,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А.Аврорина; 184209, Россия, г. Апатиты Мурманской области, ул. Ферсмана, 18^А; e-mail: goncharovaoa@mail.ru

СЕЗОННЫЙ РИТМ РАЗВИТИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ БОЯРЫШНИКА, ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ НА КОЛЬСКИЙ СЕВЕР

АННОТАЦИЯ. Приведены результаты фенологических наблюдений за растениями 16 интродуцированных видов рода *Crataegus* L., произрастающими на территории экспериментального участка Полярно-альпийского ботанического сада г. Апатиты. Проанализировано влияние сумм положительных температур на даты наступления фенофаз развития вегетативных органов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фенология, фенофазы, *Crataegus* L., метеорологические условия, Кольский Север

Zotova Olesya Evgenievna,

Junior Researcher, post-graduate student, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute named after N.A.Avrarin; Apatity, Russia

Goncharova Oksana Aleksandrovna,

PhD in Biology, Senior Researcher, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute named after N.A.Avrarin; Apatity, Russia

SEASONAL RHYTHM OF DEVELOPMENT OF SOME HAWTHORN SPECIES INTRODUCED TO THE KOLA NORTH

ANNOTATION. The results of phenological observations of 16 introduced species of the genus *Crataegus* L. growing on the territory of the experimental site of the Polar-Alpine Botanical Garden of Apatity are presented. The influence of the sum of positive temperatures on the dates of the onset of the phenophases of the development of vegetative organs is analyzed.

KEYWORDS: phenology, phenophases, *Crataegus* L., meteorological conditions, Kola North

По мере углубления и расширения ботанических исследований необходимым методом изучения растительных сообществ становятся фенологические наблюдения. Основная задача фенологии — наблюдение различных изменений в годовом цикле развития растений и ежегодная регистрация времени их наступления. Кроме того, задачей фенологических наблюдений является анализ приживаемости данного вида в определенных климатических условиях, а также дать рекомендации по использованию в зеленом строительстве [2].

Установление связи между скоростью перехода растений в фенологическую фазу и климатическими условиями представляет большой практический и теоретический интерес. Фенология определяет, приспособливается ли миграция растений в новые районы свои сезонные ритмы роста и развития к новым условиям среды, сложившимся на родине в ходе длительной эволюции видов [8].

Целью работы является сравнительная оценка закономерностей сезонного развития растений интродуцированных видов боярышника (*Crataegus* L.) на Кольский Север.

Растения рода *Crataegus* L. «...распространены на значительной территории северного

полушария, произрастают в умеренных, реже субтропических зонах. Виды рода *Crataegus* весьма декоративны в периоды цветения и плодоношения, в связи с чем, широко применяются в зеленом строительстве. Цветение наступает в 10–15 лет. Период цветения наблюдается после распускания листьев в конце мая – начале июня. Сложные щитковидные или зонтиковидные соцветия располагаются на коротких боковых побегах текущего года. Представители рода боярышник (*Crataegus* L.) являются ценными лекарственными, плодовыми и декоративными растениями» [6]. На Кольском полуострове боярышники в естественных растительных сообществах отсутствуют, но в культуре встречаются, при этом не требуют особого ухода.

Данное исследование проводилось в 2017-2021 гг. на основе коллекции древесных пород, интродуцированных на опытном участке Полярно-альпийского ботанического сада-института Кольского научного центра РАН (ПАБСИ). Полярно-альпийский ботанический сад им. Н.А. Аврорина — самый северный в России, расположенный в 120 км к северу от Полярного круга. Среднемесячная температура исследуемого района с января по февраль не ниже -13°C, а диапазон температур июля колеблется от +10°C до +14°C. Первые заморозки могут наступить в августе, а последние — в конце мая и июне. Поэтому продолжительность безморозного периода составляет 50-70 дней. Максимальное количество осадков выпадает в летние и осенние месяцы, а минимальное - весной. Среднегодовое количество осадков составляет 500-600 мм/год. Устойчивый снежный покров держится от 180 до 200 дней, высота снежного покрова 60-80 см. 31 мая наблюдается сдвиг среднесуточной температуры на +5°C. Вегетационный период 90-120 дней. [7].

Объектами исследования являются 16 видов растений рода *Crataegus* L., интродуцированных в ПАБСИ. Каждый вид представлен 1-3 образцами, произрастающими в сходных почвенно-климатических условиях, возраст анализируемых растений составил от 18 до 45 лет. Все растения были получены в виде семян, 3 вида - семенами природного происхождения, 13 видов - семенами культурного происхождения. Фенологические наблюдения за растениями проводили 2 - 3 раза в неделю в течение вегетационного сезона. [1, 3]. Поскольку развитие генеративных органов некоторых интродуцированных видов растений Боярышника в условиях Кольского Севера происходит не ежегодно, изучали следующие фенодаты развития вегетативных органов: начало разворачивания почек (Пч2), начала и окончания линейного роста побегов (Пб1, Пб2), одревеснения побегов (О2), период роста побегов (РП), завершения роста и вызревания листьев (ЛЗ), продолжительность вегетации (ПВ). Календарные даты были переведены в непрерывный числовой ряд [4]. Характеристика метеорологических условий приведена по данным метеопоста ПАБСИ (метеостанция DEVIS envoy8x, 67°58' с. ш. и 38°30' в. д.). Сумму активных температур определяли путем суммирования средних суточных температур воздуха между датами устойчивого перехода через 0°C. Для анализа сопряженности между наступлением фенодат и суммой активных температур на начало наступления фенофазы использовали корреляционный анализ [5].

Результаты фенологических наблюдений за вегетативными органами растений приведены в Таблице 1.

Начало периода вегетации растений (Пч2), изученных видов боярышника в условиях Кольского Севера приходилось на вторую половину мая, самое раннее начало вегетации характерно для *Cr. maximowiczii* (15.V), самое позднее — для *Cr. arnoldiana* (30.V). Интервал составил 15 дней. В группу рано распускающихся видов можно отнести *Cr. x schroederi*, *Cr. douglasii*, *Cr. nigra*, *Cr. maximowiczii*, *Cr. flabellata*, *Cr. chlorosarca*, из которых наиболее требовательны к накоплению положительных температур *Cr. douglasii* и *Cr. nigra*.

Таблица1. Средние многолетние фенодаты вегетативных органов интродуцированных видов рода Боярышник – в числителе, сумма активных температур - в знаменателе

Наименование вида	Начало разверзания почек - Пч2	Начало роста побегов - Пб1	Окончание роста побегов - Пб2	Период роста побегов - РП	Полное облиствление - ЛЗ	Полное одревеснение побегов - О2	Продолжи тельность вегетации - ПВ
<i>Cr. cuneata</i> Siebold & Zuss.	<u>23.V±6,1</u> 119±25,2	<u>6.VI±4,9</u> 130±12,9	<u>5.VII±3,4</u> 476±25,0	<u>29±3,7</u> <u>371±30,5</u>	<u>28.VI±4,5</u> 389±49,4	<u>26.VIII±3,9</u> 1190±112,2	<u>125±6,2</u> <u>1440±93,4</u>
<i>Cr. wattiana</i> Hemsl. et Lace	<u>24.V±4,5</u> 135±11,7	<u>11.VI±5,5</u> 170±26,9	<u>15.VII±2,9</u> 623±22,9	<u>34±3,8</u> 465±48,4	<u>2.VII±5,2</u> 417±36,8	<u>30.VIII±2,3</u> 1213±80,0	<u>124±4,4</u> <u>1435±86</u>
<i>Cr. laevigata</i> (Poir.) DC.	<u>24.V±5,6</u> 135±8,5	<u>5.VI±5,2</u> 111±16,1	<u>6.VII±3,4</u> 491±36,9	<u>31±4,9</u> 394±43,2	<u>28.VI±4,5</u> 385±38,9	<u>26.VIII±4,6</u> 1168±124,3	<u>124±5,3</u> 1434±94,5
<i>Cr. x schroederi</i> (Regel) Koehne ex Sp	<u>17.V±4,1</u> 82±4,4	<u>29.V±3,8</u> 125±9,3	<u>29.VI±5,0</u> 486±39,1	<u>32±5,0</u> 378±22,3	<u>29.VI±9,4</u> 421±68,7	<u>17.VIII±2,1</u> 1103±150,0	<u>106±3,6</u> 1296±65,5
<i>Cr. douglasii</i> Lindl.	<u>18.V±3,6</u> 116±17,0	<u>2.VI±3,6</u> 129±34,6	<u>3.VII±5,8</u> 492±64,2	<u>31±8,3</u> 378±31,7	<u>24.VI±5,3</u> 396±63,2	<u>18.VIII±4,0</u> 1169±77,7	<u>115±7,2</u> 1415±39,2
<i>Cr. submollis</i> Sarg.	<u>23.V±5,7</u> 130±9,4	<u>8.VI±5,3</u> 149±25,3	<u>18.VII±8,8</u> 658±75,9	<u>40±6,3</u> 521±79,6	<u>13.VII±3,2</u> 597±88,7	<u>30.VIII±5,9</u> 1194±164	<u>113±9,6</u> 1360±117,8
<i>Cr. pinnatifida</i> Bunge	<u>18.V±4,4</u> 89±7,2	<u>4.VI±4,3</u> 151±29,7	<u>13.VII±7,7</u> 624±62,1	<u>39±5,2</u> 486±59,7	<u>7.VII±4,5</u> 429±42,8	<u>23.VIII±5,5</u> 1192±57,8	<u>125±7,9</u> 1486±58,9
<i>Cr. rusanovii</i> Cinovskis	<u>22.V±6,5</u> 129±6,8	<u>18.VI±5,2</u> 157±30,3	<u>14.VII±7,8</u> 606±71,5	<u>36±4,4</u> 459±56,3	<u>1.VII±5,8</u> 405±40,0	<u>24.VIII±3,3</u> 1156±86,5	<u>117±5,5</u> 1367±105,0
<i>Cr. nigra</i> Waldst.& Kit.	<u>18.V±4,3</u> 116±13,1	<u>2.VI±3,8</u> 130±34,8	<u>18.VII±4,0</u> 709±82,5	<u>45±4,1</u> 591±104,9	<u>27.VI±3,0</u> 446±24,8	<u>20.VIII±3,3</u> 1199±104,2	<u>118±7,8</u> 1422±29,4
<i>Cr. maximowiczii</i> C.K.Schneid.	<u>15.V±4,4</u> 70±4,8	<u>3.VI±4,4</u> 146±23,4	<u>13.VII±6,5</u> 638±42,8	<u>40±3,9</u> 505±40,9	<u>28.VI±5,5</u> 447±27,2	<u>15.VIII±2,0</u> 1135±82,6	<u>116±6,3</u> 1376±56,0
<i>Cr. foetida</i> Ashe	<u>20.V±4,2</u> 120±19,2	<u>2.VI±4,0</u> 132±5,8	<u>12.VII±3,9</u> 625±39,3	<u>40±5,1</u> 520±32,3	<u>26.VI±6,5</u> 413±69,0	<u>26.VIII±4,2</u> 1249±91,7	<u>110±10,2</u> 1352±50,5
<i>Cr. flabellata</i> (Bosc ex Spach) K.Koch	<u>16.V±4,6</u> 68±5,2	<u>2.VI±4,7</u> 137±16,2	<u>8.VII±3,1</u> 554±33,8	<u>36±5,1</u> 426±37,2	<u>25.VI±6,0</u> 402±44,5	<u>13.VIII±2,4</u> 1092±130,2	<u>110±4,2</u> 1318±69,3
<i>Cr. chlorosarca</i> Maxim.	<u>16.V±4,6</u> 73±2,6	<u>1.VI±4,6</u> 126±9,0	<u>3.VII±5,1</u> 506±39,6	<u>32±4,1</u> 390±35,5	<u>26.VI±6,3</u> 411±48,1	<u>18.VIII±3,0</u> 1161±89,9	<u>114±6,7</u> 1360±52,6
<i>Cr. arnoldiana</i> Sarg.	<u>30.V±6,1</u> 153±14,5	<u>15.VI±4,8</u> 189±22,7	<u>25.VII±5,4</u> 799±15,7	<u>45±4,6</u> 657±92,6	<u>27.VII±12,2</u> 624±21,4	<u>1.IX±5,0</u> 1342±20,4	<u>119±7,2</u> 1422±28,7
<i>Cr. dahurica</i> Koehne et C.K. Schneid.	<u>21.V±4,8</u> 107±17,9	<u>5.VI±5,2</u> 137±31,2	<u>11.VII±7,7</u> 573±70,2	<u>35±3,1</u> <u>448±47,0</u>	<u>3.VII±6,1</u> 463±62,1	<u>14.VIII±0,8</u> 1085±63,1	<u>105±5,4</u> <u>1292±41,9</u>
<i>Cr. sanguinea</i> Pall.	<u>22.V±5,1</u> 79±12,3	<u>1.VI±4,1</u> 126±13,7	<u>13.VII±6,0</u> 601±44,1	<u>42±3,3</u> 535±45,1	<u>30.VI±4,1</u> 414±20,8	<u>18.VIII±4,2</u> 1113±92,1	<u>97±3,2</u> 1211±77,4

Начало роста побегов (Пб1) фиксировали в среднем через 15 дней (9–26 дней у разных видов). Продолжительность роста побегов составляла в среднем $37 \pm 4,8$ дней. К группе с коротким периодом роста можно отнести *Cr. cuneata*, *Cr. douglasii*, *Cr. laevigata*. Длительный период роста побегов характерен для *Cr. nigra*, *Cr. arnoldiana*, *Cr. sanguinea*. Остальные виды имели среднюю продолжительность роста вегетативных побегов. За период роста побегов изученных видов боярышника накапливалось от 371^0 до 657^0 положительных температур. К группе видов с наименьшими требованиями к теплу, накопленному к концу периода роста побегов, отнесены *Cr. cuneata*, *Cr. douglasii*, *Cr. x schroederi*.

Фаза полного одревеснения (О2) начиналась в среднем 22.VIII. К группе видов с ранними сроками одревеснения побегов отнесены *Cr. douglasii*, *Cr. x schroederi*, *Cr. maximowiczii*, *Cr. flabellata*, *Cr. dahurica*, *Cr. sanguinea*, с поздними – *Cr. wattiana*, *Cr. arnoldiana* и *Cr. submollis*.

Фаза полного облиствления (Л3) наступала вскоре после окончания роста побегов и приходилась в среднем на 28.VI. К группе ранних по данной фенофазе отнесены *Cr. douglasii*, *Cr. foetida*, *Cr. flabellata*, *Cr. chlorosarca* (суммы положительных температур 396–413), поздних – *Cr. arnoldiana* и *Cr. submollis* (суммы положительных температур 597 и 624 соответственно), средних – остальные изученные виды.

Средняя многолетняя продолжительность периода вегетации видов боярышника варьировала от 97 до 125 дней. Короткой продолжительностью этого периода характеризовались *Cr. sanguinea*, *Cr. x schroederi*, *Cr. dahurica*. Самая продолжительная вегетация отмечена у *Cr. cuneata*, *Cr. wattiana*, *Cr. laevigata*, *Cr. pinnatifida*. Среднее значение продолжительности вегетации всех изученных видов составляло $115 \pm 6,2$ дней.

Таблица 2.

Коэффициенты корреляции Спирмена между суммой активных температур и календарными датами наступления фенофаз развития вегетативных органов растений рода Боярышники

Наименование вида	Начало развёртывания почек - Пч2	Начало роста побегов - Пб1	Ошибка! роста побегов - Пб2	Период роста побегов - РП	Полное облиствление - Л3	Ошибка! Полное побегов - О2	Продолжительность вегетации - ПВ
<i>Cr. cuneata</i>	1,00*	0,40	-0,05	0,53	0,40	-0,20	0,50
<i>Cr. wattiana</i>	-0,30	0,80*	-0,20	0,80*	0,32	-0,32	0,30
<i>Cr. laevigata</i>	0,70*	0,30	-0,10	0,05	0,40	0,40	0,30
<i>Cr. x schroederi</i>	-0,80*	0,60	0,00	0,00	0,50	0,50	0,20
<i>Cr. douglasii</i>	0,20	1,00	1,00*	0,40	1,00*	0,40	1,00*
<i>Cr. submollis</i>	0,90*	-0,10	0,90*	1,00*	0,80*	1,00*	0,80*
<i>Cr. pinnatifida</i>	-0,30	0,70*	0,90	0,70*	0,00	0,30	0,40
<i>Cr. rusanovii</i>	0,40	0,40	1,00	0,90*	0,50	-0,80*	0,40
<i>Cr. nigra</i>	0,40	0,20	0,40	0,80*	1,00	0,74	-0,80*
<i>Cr. maximowiczii</i>	-0,10	0,60	0,90*	0,70*	0,80*	0,30	-0,30
<i>Cr. foetida</i>	0,40	0,40	0,60	1,00*	1,00*	-0,11	0,20
<i>Cr. flabellata</i>	0,20	0,70*	-0,20	0,80*	0,40	0,40	-0,05
<i>Cr. chlorosarca</i>	-0,15	0,60	0,70*	0,00	0,40	0,46	0,10
<i>Cr. arnoldiana</i>	0,40	0,80*	-0,50	0,50	1,00*	0,00	0,50
<i>Cr. dahurica</i>	-0,10	0,80*	0,90*	0,20	0,80*	-0,79*	-0,05
<i>Cr. sanguinea</i>	0,20	0,10	0,90*	0,50	0,20	0,15	0,50

Примечание: * – значимые на 95 % уровне

Корреляционный анализ показал положительную связь между суммой активных температур и сроками наступления и продолжительности периода линейного роста боковых побегов и полным облиствлением анализируемых видов *Crataegus* L. (при $\alpha = 0,005$) (Таблица 2). Наиболее сильная корреляционная связь отмечена между продолжительностью линейного роста и накоплением положительных температур в этот период у всех исследуемых видов (от 0,50 до 1,00) кроме *Cr. laevigata*, *Cr. x schroederi*, *Cr. chlorosarca* и *Cr. dahurica*. Таким образом, на продолжительность периода роста побегов у этих видов

боярышников могут оказывать влияние другие факторы, не учтенные в данной работе.

Значимые коэффициенты корреляции Спирмена являются положительными между суммой активных температур и сроками полного облиствения для всех образцов анализируемых видов, что свидетельствует о наличии прямо пропорционального влияния.

На продолжительность периода вегетации сумма активных температур имела обратное пропорциональное влияние у *Cr. nigra*, *Cr. maximowiczii*, *Cr. flabellate*, *Cr. dahurica*, что указывает на увеличение продолжительности вегетации при снижении суммы положительных температур у этих видов.

Таким образом, на основании комплексной оценки 16 видов рода *Crataegus* L. выявлены различия в сезонных ритмах развития вегетативных органов растений. Для начала отдельных фаз сезонного развития необходимы разные значения биологического минимума тепла. Последнее сказывается на сроках начала и окончания, продолжительности фенофаз растениями разных видов.

Список литературы

1. Александрова М.С. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / М.С. Александрова, Н.Е. Булыгин, В.Н. Ворошилов – М.: Изд-во ГБС АН СССР, 1975. – 28 с.
2. Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ / И.Н. Бейдеман - Новосибирск: Наука, 1974. - 139 с.
3. Булыгин Н.Е. Дендрология. Фенологические наблюдения над лиственными древесными растениями. / Н.Е.Булыгин - Л.: ЛТА., 1976. - 70 с.
4. Зайцев, Г.Н. Фенология древесных растений / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1981. – 120 с.
5. Коросов А. В. Компьютерная обработка биологических данных: метод. пособие. / А.В. Коросов, В.В. Горбач - Петрозаводск: Изд-во Петр ГУ, 2010. - 84 с.
6. Полетико О.М. Боярышник – *Crataegus* L. / О.М. Полетико // Деревья и кустарники СССР. – Т. 3. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – С. 514–577.
7. Семко А.П. Гидротермический режим почв лесной зоны Кольского полуострова / А.П. Семко - Апатиты: КФ АН СССР, 1982. - 142 с.
8. Фирсова М. В. Сезонное развитие видов рода *Crataegus* L. в Приобье / М.В.Фирсова // Вестник НГУ. Серия: Биология, клиническая медицина - 2010. - Том 8. - Выпуск 3. - Стр. 198-202.

© Зотова О.Е., 2022

Квашнина Анна Евгеньевна,

Федеральное государственное бюджетное учреждение государственный природный заповедник «Денежкин Камень», 624472, Россия, г. Североуральск Свердловской области, ул. Ленина, д. 6., e-mail: akvaanna@gmail.com

Возьмител Фома Константинович,

Федеральное государственное бюджетное учреждение государственный природный заповедник «Денежкин Камень», 624472, Россия, г. г. Североуральск Свердловской области, ул. Ленина, д. 6., e-mail: fomovoz@gmail.com

Янцер Оксана Васильевна,

Кандидат географических наук, Уральский государственный педагогический университет 620019, Россия, г. Екатеринбург Свердловской области, пр. Космонавтов, 26; e-mail: ksenia_yantser@bk.ru

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ И ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ СУММИРОВАННЫХ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ВЫСОТНЫХ ПОЯСАХ ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «ДЕНЕЖКИН КАМЕНЬ»

АННОТАЦИЯ. В статье представлены результаты обработки данных по фенологии растительных сообществ в заповеднике “Денежкин Камень” за период с 2002 по 2021 годы. Фенологические исследования в заповеднике ведутся с применением метода суммирующих (комплексных) фенологических характеристик на семи пробных площадях, расположенных в типичных для территории заповедника типах растительных сообществ. Описаны пространственные и временные закономерности изменения фенологических характеристик в разных поясах растительности. Для низкогорных и среднегорных ценозов выявлены даты переходов в фенофазы “Проклевывание почек”, “Рост листа” и “Молодой лист”. Средние фенологические баллы рассчитаны по пентадам за каждый год наблюдений с использованием линейной интерполяции. Построены пространственные растровые модели распределения фенологических состояний. Проанализирован характер отражения фенологического состояния ценоза на картах распределения нормализованного индекса вегетации по данным дистанционного зондирования Земли низкого разрешения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мониторинг, фенология, фенофаза, растительные сообщества, вегетативный цикл, пространственный анализ

Kvashnina Anna Evgenievna,

Russian Federal Nature Preserve (Zapovednik) «Denezhkin Kamen», Russia, Severouralsk

Vosmitel Foma Konstantinovich,

Russian Federal Nature Preserve (Zapovednik) «Denezhkin Kamen», Russia, Severouralsk

Yantser Oksana Vasilievna,

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

SPATIAL AND TEMPORAL ANALYSIS OF THE AVERAGE PHENOLOGICAL INDEX ACROSS VEGETATION ZONES OF THE RUSSIAN FEDERAL NATURE PRESERVE (ZAPOVEDNIK) «DENEZHKIN KAMEN»

ANNOTATION. The paper represents the spatial and temporal trends, revealed through long term analysis of data on the seasonal plant communities' observations in the Zapovednik “Denezhkin Kamen” in years 2002-2021. The phenological data is collected across seven observation plots located in different vertical zones of the preserve's territory in typical types of plant communities.

The study reveals turning points in the leaf development cycles of the communities located in the lower and higher parts of the mountain slopes. The average phenological index is calculated for equal five-day calendar periods using linear interpolation. The integrated phenological characteristics are used to describe seasonal development of the plant communities and to build a series of maps containing interpolation of the study results. The revealed spatial and temporal patterns of the plant communities' seasonal development were compared to the available Landsat 8 and Sentinel 2 imagery normalized difference vegetation index maps.

KEYWORDS: monitoring, phenology, phenological phase, plant communities, vegetation cycle, spatial analysis

Введение

Изучение природных процессов в эталонных экосистемах служит реперной точкой для формирования эффективной системы управления в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Непрерывный сбор информации об отдельных компонентах экосистем и о характере их взаимодействия необходим для сохранения природных комплексов и ландшафтов, оценки антропогенного воздействия на окружающую среду. Наблюдения за сезонным развитием растительных сообществ являются одним из основных направлений долгосрочного мониторинга, ведущегося в заповедниках Российской Федерации.

В заповеднике «Денежкин Камень» накоплен большой массив данных по фенологии растительных сообществ. Мы проанализировали их сезонное развитие за период с 2002 по 2021 год с целью выявить пространственные и временные закономерности изменения фенологических характеристик, а также проанализировать, как отражается сезонное развитие лиственной массы в данных дистанционного зондирования Земли.

Материал и методы

Государственный природный заповедник «Денежкин Камень» расположен в Североуральском и Ивдельском районах Свердловской области. Территория его, площадью в 80 тыс. га, вытянута в меридиональном направлении и находится примерно в 40 км на северо-запад от г. Североуральска. Согласно схеме физико-географического районирования Урала, составленной Прокаевым В. И., дополненной Капустиным В.Г. [3], территория находится в пределах таежной области Уральской равнинно-горной страны, относится к ландшафтной провинции среднегорной полосы Северного Урала. В пределах заповедника различаются три пояса растительности - горно-таежный, подгольцовый и горно-тундровый. Основные ландшафты - темныхвойные леса, редкостойные темныхвойные леса, криволесье и мелколесье, и фрагментарные тундры с каменистыми россыпями.

Для наблюдений за фенологией растительных сообществ в заповеднике «Денежкин Камень» применяется метод суммированных фенологических характеристик [4, 5, 6]. Фенологический маршрут протяженностью составляет 4,6 км пересекает среднюю часть среднегорной полосы Северного Урала. Он проложен по северному склону г. Шарпинская Сопка – восточного отрога массива Денежкин Камень, от р. Шарп до перевала на восточном плече г. Шарпинская Сопка и характеризуется перепадом высот в 503 м.

На маршруте заложены 7 пробных площадей:

Площадь №15 - Еловый лес пойменный вейниковый нитрофильный, 285.8 м над ур. м., 60.485474 N, 59.642427 E.

Площадь №16 - Пихтово-кедровый лес разнотравный, 321.0 м над ур. м., 60.477814 N, 59.640182 E.

Площадь №17 - Сосновый лес кустарничково-зеленомошный, 409.5 м над ур. м., 60.470326 N, 59.637363 E.

Площадь №18 - Сосновый лес с примесью ели и пихты мелкотравно-кустарничково-зеленомошный, 430.9 м над ур. м., 60.468115 N, 59.636557 E.

Площадь №19 - Еловый лес кустарничково-зеленомошный, 577.7 м над ур. м., 60.455465 N, 59.63178 E.

Площадь №20 - Кедровое редколесье кустарничково-зеленомошное, 599.0 м над ур. м., 60.454257 N, 59.631357 E.

Площадь №21 - Березовое криволесье кустарничково-зеленомошное, 787.7 м над ур. м., 60.4477876 N, 59.6294835 E.

Размер и конфигурация фенологической площади определяется конкретной фацией, в пределах которой она представлена. Регистрация фенологического состояния видов производится во время вегетационного периода, в среднем с третьей декады мая до второй декады сентября, с периодичностью один раз в семь дней.

На территории сообщества в пределах учётной феноплощади определяется фенологическое состояние каждого вида путём оценки его учётных единиц соответственно стандартам отдельно по генеративному и вегетативному процессам развития растений (табл. 1). Полученные показатели переводятся в относительные: процент видов растений, находящихся в определенной фенологической фазе на день обследования. Рассчитывается соотношение этих показателей – суммированная (комплексная) фенологическая характеристика (СФХ) растительности и средний балл ($\bar{K}_{ср}$) – фенологическая характеристика, учитывающая состояние всех видов растений площадки, выраженная одним числом [6].

Таблица 1.

Фенологические стандарты процессов развития растений (в баллах)

Балл	Генеративный	Вегетативный (развитие ассимиляционного аппарата)
0	Покой	Зимний покой
1	Появление слабо дифференцированных бутонов	Набухание почек
2	Активная бутонизация (окрашенный бутон)	Проклевывание почек
3	Зацветание	Рост листа
4	Активное цветение	Молодой лист
5	Отцветание	Зрелый лист (летняя вегетация)
6	Завязывание плодов и семян	Начало окрашивания (отмирания) - < 50%
7	Поспевание плодов и семян	Интенсивное окрашивание (отмирание) - > 50%
8	Обсеменение	Полное отмирание (опадение)
9	Постгенеративная	-

Суммированные фенологические характеристики (СФХ) маркируют фенологическое состояние сообщества в день наблюдений. Обработка по каждому отдельному процессу ведётся независимо. В связи с тем, что основную роль в общем облике природного комплекса играет стадия развития ассимиляционного аппарата, обработка данных по срокам наступления фенологических фаз была проведена только для вегетативного процесса. Всего под наблюдением находятся 128 видов растений, из них: 90 травянистых, 25 кустарников и кустарничков, 1 полукустарничек, 12 древесных.

Для определения даты перехода каждой площадки через рубеж фенологической фазы бралось суммарное число регистраций каждой фазы в отдельный срок наблюдения, и вычислялось их процентное соотношение. В нашем исследовании за основу взято условие перехода растительного сообщества в следующее фенологическое состояние при регистрации этой фазы развитию более чем 50% видов растений на площади. Пробные площади со сходными датами перехода в следующее фенологическое состояние были объединены в группы, в пределах которых суммарно подсчитывались число регистраций наступления каждой фазы и их процентное соотношение. В результате площади №№ 15, 16, 17 и 18 сформировали одну группу, №№ 19, 20 и 21 - другую.

Для анализа процессов развития фитоценоза на пробной площади был рассчитан средний фенологический балл по пентадам за каждый год наблюдений с использованием линейной интерполяции, или скорости фенологического развития [1]. Для построения пространственных растровых моделей распределения фенологических состояний (фенологических карт) для пар площадей 17-18 и 19-20, расположенных довольно близко,

был высчитан объединенный средний фенологический балл.

С целью оценки пространственного распределения средних баллов СФХ на феномаршруте в разные годы произведена интерполяция поверхности раstra на основании средних значений СФХ на площадях с использованием метода обратно взвешенных расстояний (<https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/2.7/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>). Для построения раstra использован программный продукт ARC PRO 2.9.0. Применялись параметры, установленные для данного метода по умолчанию: значение экспоненты 0.05 количество ближайших входных опорных точек, используемых для выполнения интерполяции 6.

Отдельная часть исследования посвящена выявлению отражения фенологического состояния на картах распределения нормализованного индекса вегетации по данным космических снимков низкого разрешения. Для этого нами были отобраны продукты обработки серии снимков открытого доступа Landsat 8 за июнь и август 2014, 2016, 2018 гг. и Sentinel-2 за июнь, июль и август 2019, 2020, 2021 гг., а именно карты распределения нормализованного индекса вегетации (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index). Не всегда возможно использовать для анализа результаты съемки в дни посещения феномаршрута, поскольку количество снимков с отсутствующей облачностью в районе наблюдений весьма ограничено.

Для настоящей работы мы использовали классический вариант NDVI, рассчитанный автоматически, доступный на информационном ресурсе компании EOS Data Analytics (<https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndvi/>) [7].

Результаты и обсуждение

Даты наступления каждой фенологической фазы на пробных площадях различаются в пределах от 7 до 23 дней, однако в половине случаев развитие растительных сообществ совпадает по срокам. Весенне-летняя динамика комплекса растительности площадок в горно-таежном поясе, в среднем, опережает таковую в криволесье (табл. 2).

Таблица 2.

Даты переходов низкогорных и среднегорных ценозов в фенофазы «Проклевывание почек», «Рост листа» и «Молодой лист» за период с 2002 по 2021 годы

Год\Наименование фенофазы	Площади 15, 16, 17, 18 – горно-таежный пояс			Площади 19, 20, 21 – подгольцовый пояс, криволесье		
	Проклевывание почек	Рост листа	Молодой лист	Проклевывание почек	Рост листа	Молодой лист
2002	10 июня	25 июня	1 июля	17 июня	1 июля	9 июля
2003	-	2 июня	9 июля	27 июля	-	9 июля
2004	13 июня	-	5 июля	13 июня	3 июля	10 июля
2005	27 мая	10 июня	1 июля	3 июня	25 июня	1 июля
2006	13 июня	-	11 июля	13 июня	27 июня	11 июля
2007	11 июня	25 июня	9 июля	25 июня	2 июля	9 июля
2008	24 мая	30 июня	14 июля	16 июня	30 июня	7 июля
2009	9 июня	2 июля	14 июля	14 июня	-	28 июля
2010	25 мая	6 июля	13 июля	25 мая	6 июля	
2011	1 июня	-	19 июля	1 июня	-	19 июля
2012	22 мая	-	26 июня	22 мая	-	3 июля
2013	26 мая	-	2 июля	11 июня	-	16 июля
2014	16 мая	2 июня	23 июня	27 мая	-	1 июля
2015	22 мая	9 июня	23 июня	1 июня	-	30 июня
2016	30 мая	-	28 июня	30 мая	-	5 июля
2017	14 июня	-	12 июля	23 июня	-	18 июля
2018	19 июня	-	17 июля	26 июня	-	17 июля
2019	27 мая	-	2 июля	6 июня	-	9 июля
2020	18 мая	-	25 июня	2 июня	-	30 июня
2021	18 мая	-	15 июня	18 мая	-	6 июня

Продолжительность межфазных периодов в криволесье по сравнению с нижерасположенными площадками сокращается от проклевывания почек до роста листа на 4 суток, от роста листа до молодого листа в 2 раза (на 8 суток). Средние многолетние различия в сроках наступления фенофаз между растительными сообществами горно-таежного и подгольцового поясов сокращаются от мая к июлю. Максимальной разницы они достигают по фенофазе «рост листа» – 12 суток, минимальной – 4 суток по развитию молодого листа. В целом, начальные фазы вегетации, представленные в табл. 2., более растянуты по времени в нижних и средне-верхних частях феномаршрута по сравнению с площадками криволесья.

Наиболее раннее фенологическое развитие ценозов наблюдалось в 2014, 2020 и 2021 гг., наиболее позднее – в 2017 и 2018 гг. При этом прослеживается общая тенденция в смещении дат наступления явлений на более ранние сроки (рис. 1). За весь период наблюдений 2002, 2004, 2006 и 2007 годы отличались более короткими периодами развития ассимиляционного аппарата.

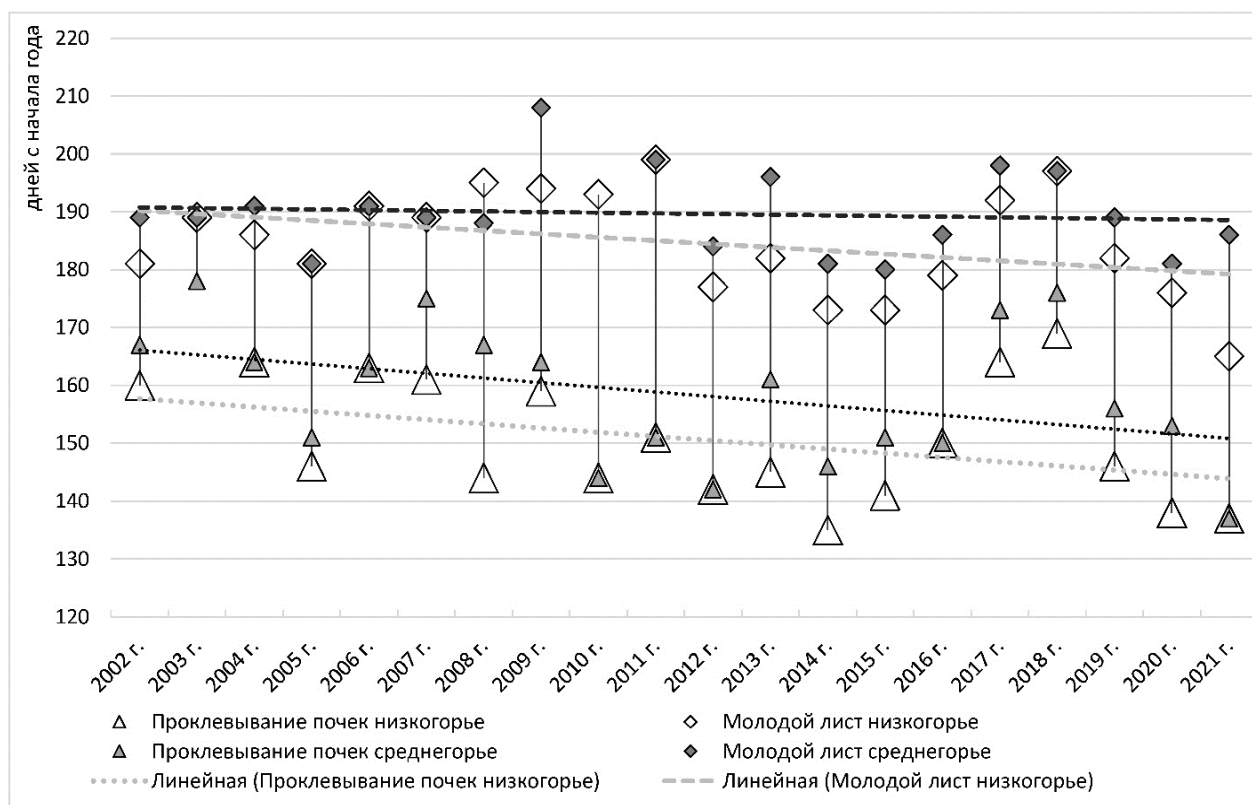


Рис. 1. Погодичная динамика дат переходов низкорослых и среднерослых ценозов в фенофазы «Проклевывание почек» и «Молодой лист» за период с 2002 по 2021 годы.

Согласно данным метеорологических наблюдений, проводимым на территории заповедника «Денежкин Камень» [2], в 2004 году зафиксированы самые минимальные значения средней температуры воздуха фенологических сезонов «Начало весны» и «Лето», сезон «Зелёная весна» также характеризовался низкой средней температурой, а сезон «Лето» имел наиболее короткую продолжительность за весь период наблюдений. Низкая средняя температура воздуха в сезон «Зелёная весна», вероятно, обусловила и более позднее развитие фитосообществ в 2018 году.

Характер изменения средних фенологических показателей на площадках, выявленный в результате интерполяции по пентадам, различается как по площадкам, так и по годам. В настоящей статье приводим СФХ для декад по всему исследуемому периоду (табл. 3).

Таблица 3.

Средний фенологический коэффициент (балл) по декадам за каждый год наблюдений с использованием линейной интерполяции

год	№№ пробн. площади	21 мая	31 мая	10 июня	15 июня	20 июня	30 июня	10 июля	20 июля	30 июля	9 августа	19 августа	29 августа
2002	15	2.10	2.64	3.13	3.33	3.60	4.27	4.88	4.97	5.00	5.03	5.42	5.84
	16	1.12	1.67	2.61	2.87	3.32	4.42	4.81	4.96	5.11	5.00	5.14	6.09
	17 и 18	1.05	1.64	2.33	2.61	3.10	4.24	4.67	4.92	4.99	5.03	5.21	5.87
	19 и 20	1.16	1.57	1.80	2.29	2.79	3.90	4.35	4.59	4.77	5.04	5.04	6.10
	21	-	-	-	1.71	2.57	4.07	4.47	4.86	4.81	5.15	5.42	6.04
2003	15	1.65	3.35	3.81	3.88	3.95	4.25	4.84	4.94	5.01	5.17	5.44	5.72
	16	2.06	3.40	3.69	3.71	3.73	3.98	4.69	4.91	5.09	5.12	5.35	5.63
	17 и 18	1.06	2.70	3.27	3.43	3.58	4.02	4.70	4.77	4.87	5.14	5.45	5.77
	19 и 20	0.38	1.67	2.36	2.63	2.90	3.56	4.42	4.61	4.88	5.41	5.71	5.92
	21	-	-	2.36	2.73	3.10	3.82	4.49	4.73	4.95	5.53	6.11	6.64
2004	15	1.40	2.20	2.92	3.22	3.67	4.37	4.82	4.93	5.00	5.00	5.56	6.18
	16	0.90	1.80	2.64	2.91	3.29	4.05	4.75	5.00	5.00	5.13	5.59	6.07
	17 и 18	1.00	1.48	2.42	3.32	3.45	4.00	4.83	4.98	5.05	5.21	5.60	6.00
	19 и 20	0.25	1.07	2.03	2.50	2.83	3.53	4.32	4.76	4.96	5.24	5.62	6.02
	21	1.36	2.00	2.78	3.18	3.57	4.39	4.74	5.00	5.08	5.25	5.59	5.69
2005	15	2.21	2.77	3.51	3.85	4.18	4.77	4.86	4.98	5.07	5.32	5.39	5.53
	16	1.41	2.57	3.39	3.68	3.98	4.50	4.77	5.04	5.16	5.22	5.37	5.98
	17 и 18	1.79	2.72	3.62	3.79	3.95	4.47	4.67	4.99	5.07	5.34	5.46	5.75
	19 и 20	1.26	2.27	3.11	3.38	3.65	4.20	4.49	4.92	5.00	5.31	5.50	5.89
	21	1.36	2.00	2.78	3.18	3.57	4.39	4.74	5.00	5.08	5.25	5.59	5.69
2006	15	-	0.90	2.31	2.71	2.97	4.07	4.26	4.62	4.73	5.03	5.80	6.23
	16	-	0.51	1.94	2.47	2.64	3.55	4.24	4.89	5.04	5.19	5.91	6.37
	17 и 18	-	0.27	2.03	3.00	3.34	3.97	4.34	4.93	5.08	5.11	5.85	6.26
	19 и 20	-	0.16	1.93	2.94	3.27	3.87	4.18	4.96	5.01	5.12	5.83	6.31
	21	-	-	2.16	3.15	3.20	4.16	4.76	5.22	5.11	5.18	5.97	6.77
2007	15	-	-	-	3.18	3.37	4.04	4.83	4.98	5.11	5.38	5.82	6.20
	16	-	-	-	3.15	3.40	4.15	4.94	5.00	5.11	5.29	5.52	5.82
	17 и 18	-	-	-	3.04	3.36	3.96	4.75	4.98	5.20	5.48	5.70	6.03
	19 и 20	-	-	-	1.80	2.30	3.58	4.54	4.93	5.10	5.33	5.69	5.99
	21	-	-	-	-	1.97	3.59	4.63	4.95	5.14	5.43	5.88	6.21
2008	15	-	2.30	2.56	2.79	3.06	3.70	4.39	4.76	5.09	5.25	5.50	5.89
	16	-	2.21	2.37	2.62	2.91	3.68	4.44	4.72	5.07	5.32	5.61	5.87
	17 и 18	-	2.17	2.32	2.57	2.89	3.63	4.53	4.78	5.11	5.23	5.49	5.82
	19 и 20	-	1.47	1.81	2.28	2.69	3.59	4.52	4.68	5.02	5.19	5.50	5.83
	21	-	1.94	2.07	2.44	2.82	3.67	4.50	4.82	5.11	5.38	5.72	6.19
2009	15	-	1.66	2.75	3.03	3.18	3.67	4.30	4.70	4.98	5.37	5.67	5.96
	16	-	1.60	2.71	2.99	3.25	3.70	4.23	4.63	5.03	5.35	5.70	5.91
	17 и 18	-	1.42	2.59	2.95	3.19	3.50	4.01	4.46	4.96	5.32	5.60	5.91
	19 и 20	-	1.04	2.37	2.79	3.12	3.35	3.74	4.28	4.82	5.10	5.63	5.89
	21	-	1.28	2.23	2.81	3.04	3.39	3.80	4.33	4.91	5.35	5.80	6.14
2010	15	2.30	2.89	3.09	3.19	3.29	3.79	4.40	4.73	4.96	5.28	5.75	6.32
	16	2.30	2.93	3.11	3.19	3.30	3.71	4.28	4.64	4.91	5.23	5.66	6.20

	17 и 18	2.12	2.93	3.08	3.15	3.25	3.63	4.16	4.48	4.74	5.12	5.67	6.13
	19 и 20	1.89	2.64	3.00	3.13	3.23	3.52	4.05	4.43	4.78	5.19	5.69	6.17
	21	2.11	2.76	3.00	3.06	3.15	3.54	4.17	4.66	5.05	5.54	6.16	6.59
2011	15	-	2.76	3.11	3.22	3.31	3.69	4.27	4.78	5.01	5.33	5.74	6.24
	16	-	2.58	2.98	3.14	3.25	3.67	4.26	4.73	4.99	5.43	5.76	6.17
	17 и 18	-	2.45	2.96	3.15	3.20	3.58	4.08	4.60	4.90	5.24	5.64	5.97
	19 и 20	-	2.18	2.79	2.95	3.12	3.55	3.99	4.52	4.86	5.38	5.70	6.08
	21	-	2.25	2.75	2.87	2.98	3.43	4.08	4.65	5.05	5.42	5.68	6.26
2012	15	-	2.98	3.39	3.61	3.84	4.46	4.84	5.11	5.42	5.89	6.17	6.44
	16	-	2.90	3.39	3.62	3.85	4.45	4.81	5.12	5.39	5.72	6.03	6.35
	17 и 18	-	2.87	3.37	3.62	3.79	4.43	4.74	5.02	5.29	5.70	6.00	6.28
	19 и 20	-	2.66	3.27	3.49	3.67	4.25	4.71	5.04	5.33	5.60	6.00	6.27
	21	-	2.81	3.26	3.56	3.83	4.57	4.87	5.13	5.44	5.81	6.20	6.60
2013	15	-	2.49	2.93	3.21	3.51	4.24	4.75	4.89	5.11	5.59	6.11	6.28
	16	-	2.47	2.90	3.17	3.46	4.18	4.69	4.86	5.13	5.52	5.99	6.23
	17 и 18	-	2.33	2.86	3.14	3.47	4.18	4.65	4.81	5.10	5.46	5.84	6.21
	19 и 20	-	2.28	2.55	2.94	3.26	3.93	4.53	4.78	5.07	5.44	5.82	6.13
	21	-	1.75	2.68	2.96	3.22	3.99	4.66	4.90	5.09	5.44	6.02	6.30
2014	15	2.58	3.53	3.95	4.09	4.31	4.76	4.91	4.97	5.29	5.58	5.88	6.23
	16	2.39	3.37	3.73	3.98	4.25	4.75	4.84	4.91	5.21	5.51	5.76	6.08
	17 и 18	2.29	3.40	3.76	4.02	4.31	4.68	4.79	4.85	5.23	5.49	5.77	6.01
	19 и 20	1.68	2.93	3.49	3.61	3.89	4.49	4.73	4.83	5.07	5.34	5.61	5.89
	21	2.04	2.61	3.20	3.31	3.73	4.60	4.82	4.89	5.13	5.33	5.66	6.12
2015	15	2.41	2.99	4.04	4.35	4.64	4.94	5.02	5.33	5.60	5.85	5.74	6.38
	16	2.41	2.94	3.97	4.28	4.59	4.90	4.97	5.20	5.46	5.77	5.64	6.18
	17 и 18	-	2.86	3.79	4.20	4.51	4.82	4.95	5.22	5.48	5.81	5.87	6.25
	19 и 20	-	2.49	3.48	3.84	4.25	4.74	4.91	5.04	5.28	5.61	5.72	6.21
	21	-	-	3.23	3.52	3.97	4.75	4.94	5.05	5.27	5.63	5.71	6.14
2016	15	-	2.89	3.34	3.57	4.08	4.72	4.89	4.97	5.13	5.22	5.83	6.23
	16	-	2.90	3.39	3.69	4.06	4.63	4.85	5.00	5.13	5.17	5.60	6.03
	17 и 18	-	2.83	3.23	3.49	3.81	4.50	4.80	5.00	5.11	5.22	5.51	5.81
	19 и 20	-	2.26	2.91	3.20	3.60	4.33	4.71	4.98	5.09	5.19	5.45	5.90
	21	-	2.26	2.83	3.10	3.47	4.18	4.70	5.00	5.16	5.35	5.70	6.14
2017	15	-	-	-	2.86	3.17	3.83	4.39	4.83	4.99	5.31	5.55	5.97
	16	-	-	-	2.80	3.09	3.79	4.43	4.81	4.98	5.20	5.57	5.91
	17 и 18	-	-	-	2.62	2.93	3.63	4.34	4.72	4.94	5.25	5.54	5.84
	19 и 20	-	-	-	2.17	2.54	3.38	4.18	4.68	4.86	5.07	5.36	5.84
	21	-	-	-	2.01	2.42	3.11	4.03	4.67	4.90	5.09	5.48	6.00
2018	15	-	1.40	2.41	2.74	3.01	3.78	4.49	4.90	5.01	5.19	5.46	5.78
	16	-	1.05	2.06	2.47	2.85	3.75	4.46	4.88	4.99	5.15	5.50	5.76
	17 и 18	-	-	-	1.99	2.62	3.47	4.33	4.81	5.01	5.18	5.49	5.71
	19 и 20	-	-	-	1.25	1.95	3.18	4.15	4.68	4.99	5.09	5.45	5.77
	21	-	-	-	1.32	1.74	3.04	4.00	4.70	4.99	5.13	5.57	5.96
2019	15	-	2.82	3.25	3.58	3.92	4.45	4.84	5.03	5.23	5.56	5.90	6.25
	16	-	2.76	3.03	3.37	3.79	4.46	4.84	4.96	5.14	5.56	5.79	6.20
	17 и 18	-	2.53	3.04	3.39	3.76	4.33	4.74	4.92	5.07	5.51	5.75	6.12
	19 и 20	-	1.98	2.69	3.07	3.53	4.24	4.63	4.79	5.00	5.43	5.73	6.06
	21	-	1.75	2.56	2.94	3.34	4.14	4.67	4.89	5.05	5.37	5.81	6.19
2020	15	2.66	2.99	3.65	3.87	4.15	4.73	4.91	5.09	5.38	5.66	6.03	6.46
	16	2.47	2.86	3.49	3.75	4.07	4.65	4.87	5.07	5.36	5.64	6.02	6.41

	17 и 18	1.99	2.71	3.40	3.70	4.00	4.56	4.81	5.03	5.24	5.46	5.78	6.20
	19 и 20	-	2.12	3.12	3.43	3.72	4.38	4.73	4.97	5.21	5.44	5.71	6.06
	21	-	1.69	2.90	3.26	3.56	4.31	4.69	4.96	5.20	5.44	5.82	6.24
2021	15	2.92	3.31	4.15	4.57	4.65	4.82	5.01	5.24	5.62	5.93	6.17	6.53
	16	2.89	3.30	4.13	4.58	4.66	4.81	4.98	5.17	5.52	5.81	6.12	6.51
	17 и 18	2.81	3.27	4.04	4.47	4.57	4.77	4.96	5.15	5.46	5.74	6.06	6.31
	19 и 20	2.63	3.25	3.92	4.41	4.52	4.74	4.94	5.13	5.42	5.69	6.04	6.34
	21	2.80	3.21	3.65	3.92	4.04	4.27	4.44	4.52	4.67	4.83	5.00	5.26

В начале вегетационного периода прослеживается определенная закономерность: на самой нижней в высотном отношении площади, расположенной в пойме р. Шарп, отмечено более раннее развитие растений, на самой верхней, в криволесье – самое позднее. Такая высокая вариабельность сроков развития сохраняется примерно до середины июля (рис. 2). К концу вегетационного периода фенологические ритмы на всех пробных площадях выравниваются, а площадка в криволесье несколько опережает в развитии завершающих фенофаз участки, расположенные ниже по склону.

В 2018 году отмечены самые поздние сроки начала вегетации во всех ценозах на феномаршруте, в 2021 – самые ранние. Хотелось бы отметить тот факт, что на верхней площади, в криволесье, в 2021 году была наиболее высокая, за весь срок наблюдений, скорость развития ассимиляционного аппарата, которая сопровождалась рекордным по срокам увяданием. Вероятнее всего, сказался большой дефицит влаги в течение лета 2021 года. В связи с этим, 2021 год характеризовался наиболее вариабельными средними фенологическими баллами, особенно во второй половине лета за счет раннего увядания растений на верхних площадях, равно как и 2003 год. Наиболее выровненным, эталонным, по средним фенологическим баллам можно считать 2012 год.

Очень наглядно разница в фенологическом развитии ценозов в 2018 и 2021 гг., особенно в сравнении со среднегодовыми показателями, видна на растровых картах распределения средних баллов СФХ (рис. 3). Растровые карты распределения СФХ построены для одинаковых дат – 15 июня, 15 июля и 24 августа.

Для выявления закономерности отображения фенологического состояния ценоза необходимо иметь набор статистически значимого количества космоснимков. Территория заповедника расположена вдоль главного Уральского хребта, к сожалению, качественные снимки для района феномаршрута в течение вегетационного периода имеются лишь в двух-трех случаях из десятков снимков платформы Landsat 8 и в трех-пяти из сотен снимков Sentinel 2. Ниже приведены все безоблачные снимки за один вегетационный сезон 2021 года для рассматриваемого района (рис. 4). Еще одним обстоятельством, снижающим чувствительность NDVI, является преобладание хвойных деревьев в верхнем ярусе леса.

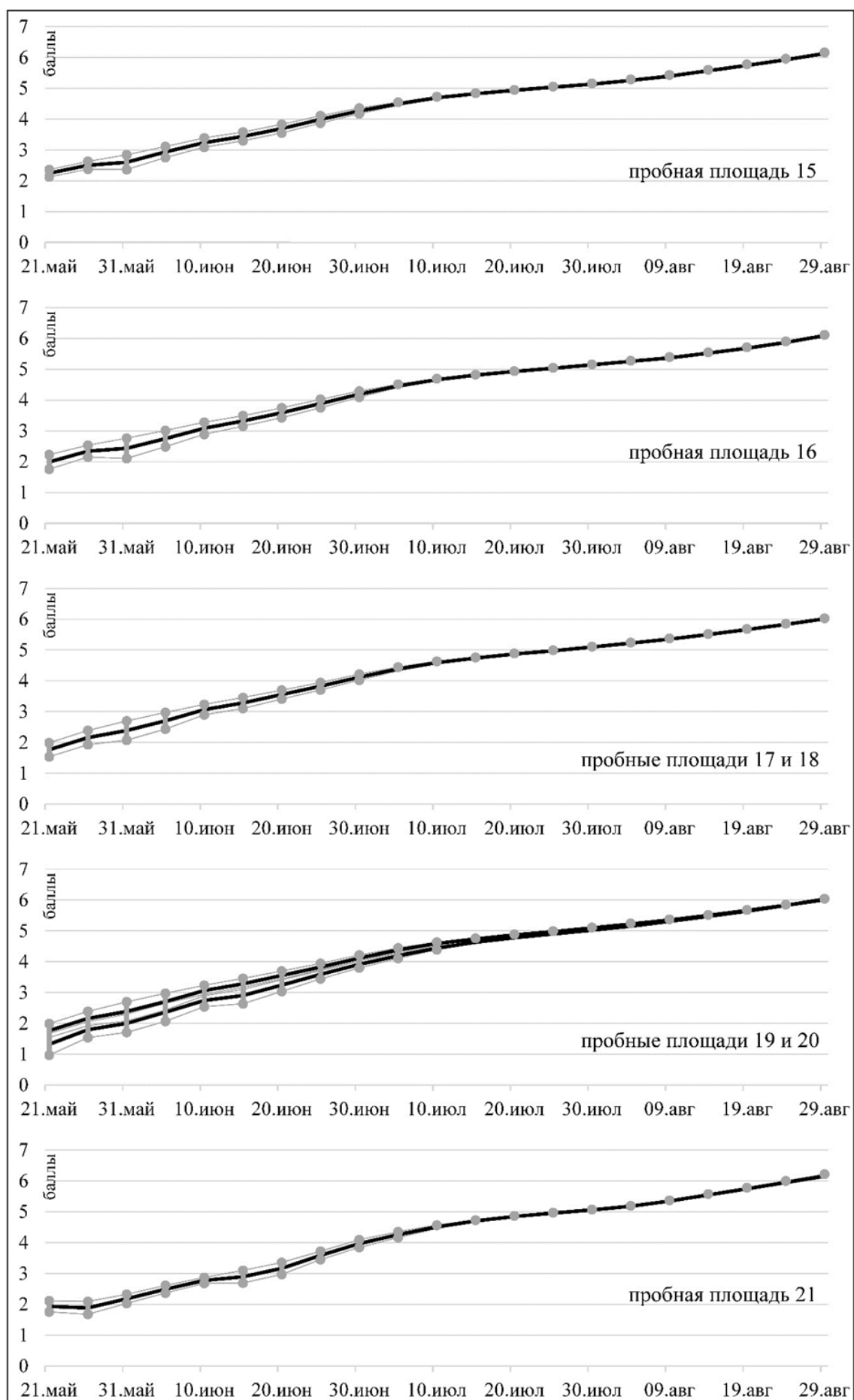


Рис. 2. Изменение усредненных фенологических показателей фенологических площадей и величина дисперсии за период с 2002 по 2021 год.

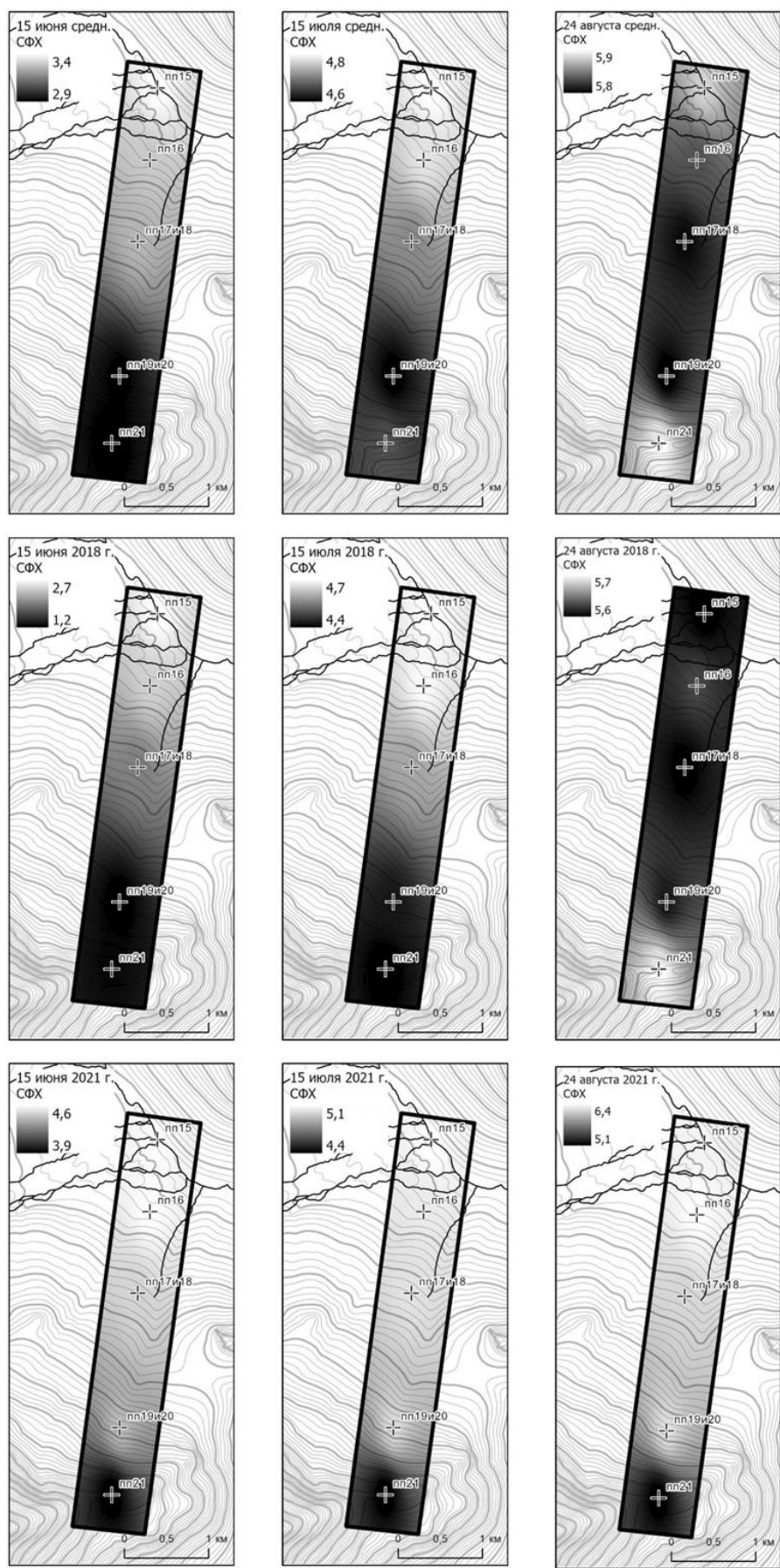


Рис. 3. Растровые карты распределения среднегодовых фенологических показателей для дат 15 июня, 15 июля и 24 августа, и карты фенологических показателей 2018 и 2021 годов.

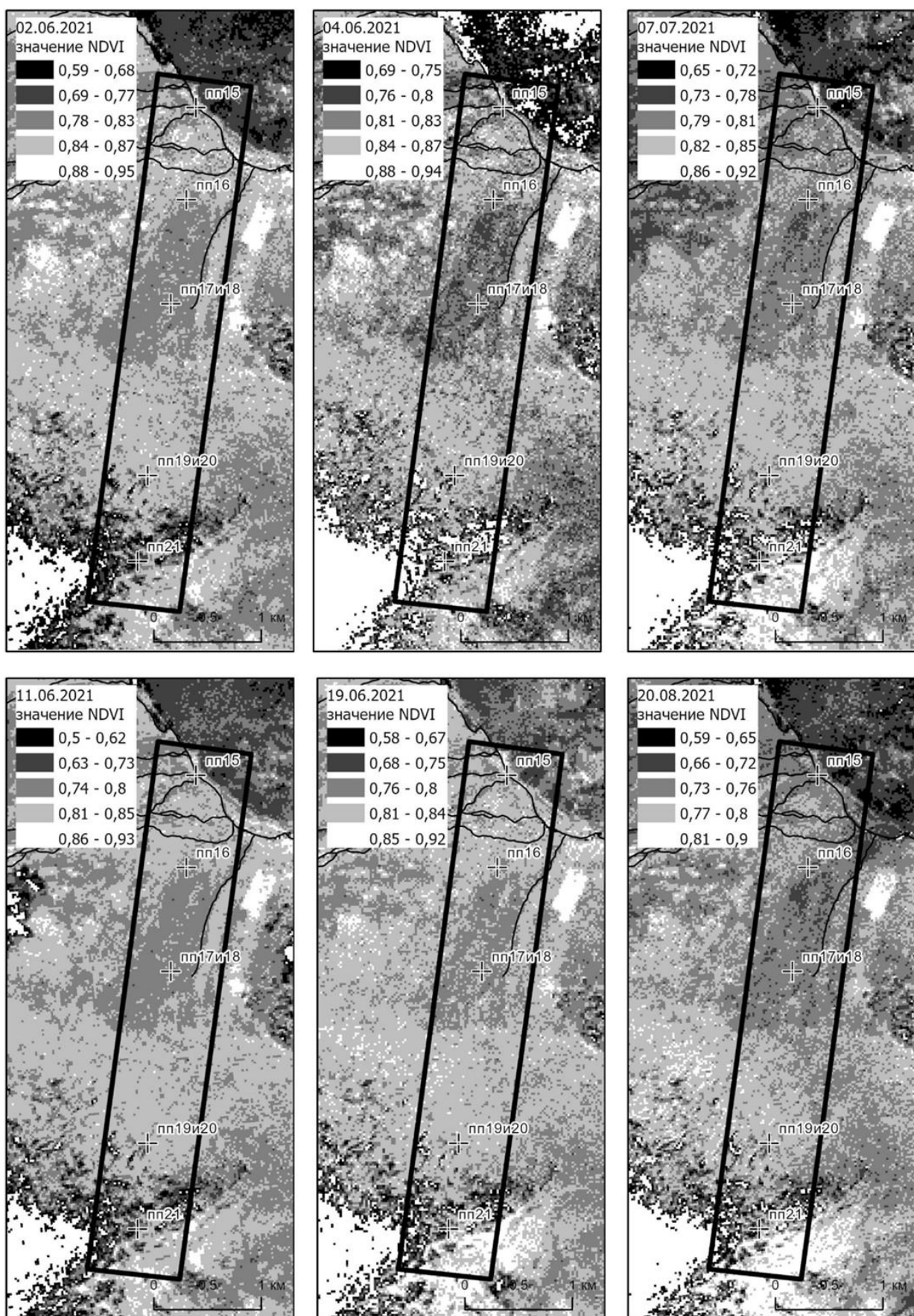


Рис. 4. Карты значений вегетационного индекса NDVI по материалам обработки спутниковых снимков Sentinel 2 для района фенологического маршрута в вегетационный период 2021 года.

На снимках в обработке NDVI очевидна разница в отображениях ценозов в разные периоды развития листьев: начало лета, середина лета и начало увядания значительно различаются.

Заключение

Многолетние данные по фенологии растительных сообществ, собранные в заповеднике «Денежкин Камень», позволили выявить закономерности развития растительных сообществ в разных высотных поясах, различия в характеристиках развития сообществ по годам, а также общие тенденции их вегетативного развития в течение 20-летнего периода.

Возможно, более полные серии качественных космоснимков для исследуемой территории во время вегетационного периода позволят выявить корреляцию вегетационного индекса и фенологической стадии развития фитокомпонента природных комплексов.

Список литературы

1. Батманов В.А. 1967. Заметки по теории фенологического наблюдения // Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, С. 7-30.
2. Возьмитель К.А., Квашнина А.Е. 2021. Некоторые закономерности наступления и течения фенологических сезонов по результатам обработки многолетних данных по погоде и фенологии в заповеднике «Денежкин камень» // Климатические изменения и сезонная динамика ландшафтов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Екатеринбург, 22–24 апреля 2021 года. Екатеринбург: [б.и.]. С. 289-298. <https://doi.org/10.26170/KFG-2021-42>
3. Гурьевских О.Ю., Капустин В.Г., Скок Н.В., Янцер О.В. Физико-географическое районирование и ландшафты Свердловской области: коллективная монография / Екатеринбург, УрГПУ, 2016. – 280 с.
4. Терентьева Е.Ю. 2000. Сезонный мониторинг растительности через суммированные фенологические характеристики фитоценозов // Актуальные проблемы регионального, географического, экологического и биологического образования: материалы региональной научно-практической конференции. Екатеринбург: УрГПУ. С. 16-17.
5. Терентьева Е.Ю. 2001. Комплексные фенологические показатели фитоценозов и их использование при организации феномониторинга.: автореф. дис. канд. биол. наук (03.00.05) / Терентьева Елена Юрьевна; УрГПУ. Екатеринбург. С. 3-16.
6. Янцер О.В. 2005. Сезонная динамика ландшафтных геокомплексов среднегорий Северного Урала (на примере заповедника «Денежкин Камень». Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук, Пермь. – 269 с.
7. ЭОС система. Индекс NDVI. Режим доступа: <https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndvi/> (Дата обращения: 01.06.2022)

© Квашнина А.Е., Возьмитель Ф.К., Янцер О.В., 2022

Китаев Лев Михайлович

Кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт географии РАН, Старомонетный пер., 29, Москва, Россия, 119017

Данилович Ирина Сергеевна

Институт природопользования НАН Беларуси; ул. Франциска Скорины 10, Минск, Беларусь. danilovich@yandex.ru

Акентьева Елена Марковна

ФГБУ Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (ФГБУ ГГО); ул. Карбышева 7, Санкт-Петербург, Россия, 194021. eakentyeva@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СРЕДНИХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕВЕРО-ЗАПАДА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

АННОТАЦИЯ. Оцениваются особенности региональных различий современного метеорологического режима северо-запада Восточно-Европейской равнины на примере сравнения северной, центральной и южной частей региона (бассейн Баренцева моря, Ленинградская область в России, водосбор Западной Двины в Республике Беларусь) – актуальность исследований заключается в необходимости уточнения существующих оценок крупномасштабных изменений климата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метеорологические характеристики, положительные и отрицательные экстремумы, пространственно-временная изменчивость, регрессионные зависимости, пороговые экстремумы значений, отрицательные и положительные экстремумы.

Kitaev Lev Mikhailovich

Institute of geography RAS, Moscow, Russia

Danilovich Irina Sergeevna

Institute for Nature Management NAS of Belarus, Minsk, Belarus

Akent'eva Elena Markovna

Voeikov Main Geophysical Observatory, Sankt-Peterburg, Russia

FEATURES OF REGIONAL HETEROGENEITY OF MEAN AND EXTREME METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS NORTH-WEST OF THE EASTERN EUROPEAN PLAIN

ANNOTATION. The features of regional differences in the modern meteorological regime of the north-west of the East European Plain are assessed by comparing the northern, central and southern parts of the region (the Barents Sea basin, and the Leningrad Region in Russia, as well as the Zapadnaya Dvina catchment in the Republic of Belarus) as an example. refinement of existing estimates of large-scale climate change.

KEYWORDS: meteorological characteristics, positive and negative extrema, spatiotemporal variability, regression dependencies, threshold extrema values, negative and positive extrema.

Введение

Продолжающееся на территории Восточно-Европейской равнины потепление в зимний период года выражается в значимых тенденциях повышения приземной температуры воздуха, в небольшом увеличении осадков, в стабилизации или снижением на отдельных территориях водного эквивалента снега (далее – снегозапасы) на фоне многолетних

изменений атмосферной циркуляции [8, 11, 12, и др.]. В результате происходят заметные изменения гидрологического режима, и, в частности, водность и трансформация годового хода стока рек. Для крупномасштабных оценок современных изменений гидрометеорологического режима [1, 5, 10, и др.] остается актуальным их детализация посредством исследований региональной изменчивости компонентов природной среды для средних, модальных и экстремальных значений характеристик – что позволяет корректировать методику исследований современных ландшафтов. В частности, нами были уточнены выводы Воронежского университета, связанные с влиянием растительности на распределение снегозапасов [6, 7]: для локального пространственного уровня (центр Восточно-Европейской равнины) определены детальные различия формирования снегозапасов на участках с разными типами растительных сообществ, не учитываемые сегодня при региональных и крупномасштабных оценках залегания снежного покрова [2, 3, 4]. Выявленные тенденции в изменениях водности р. Западная Двина в условиях современного климата [8] позволяют уточнить особенности гидрометеорологического режима Восточно-Европейской равнины в целом. Проведенная ранее оценка региональных закономерностей взаимосвязи сезонного и многолетнего хода приземной температуры почвы, снегозапасов и температуры почвы для Восточно-Европейской равнины базировалась на результатах экспериментальных исследований взаимодействия означенных характеристик на локальном уровне – для Московской и Тверской областей [3]. Закономерности пространственно-временного распределения гидрометеорологических характеристик выявлены нами для водосборов Баренцева моря и Балтийского морей – разница в амплитуде, пространственной изменчивости, в скорости многолетних характеристик.

Соответственно вышеизложенному, основная цель продолжения работ состоит в оценке значимости сезонной региональной неоднородности проявления средних и экстремальных случаев в метеорологическом режиме севера Восточно-Европейской равнины – для последующего уточнения оценок реакции биоты на изменения климата.

Объектами исследований являются водосбор Баренцева моря – территория севернее 60-й параллели (далее – северная часть региона), а также восточная часть водосбора Балтийского моря – Ленинградская область и территория Республики Беларусь (далее – средняя и южная части региона), где для анализа использованы данные наблюдений метеорологических станций в количестве соответственно 48-ми, 10-ти и 8-ми (*meteo.ru*). Рассматриваются летний (июнь, июль, август) и зимний (декабрь, январь, март) сезоны (1966-2020 гг.) – как характерные для биоты периоды активности относительного покрова. В качестве исходной метеорологической информации используются среднесуточные значения приземной температуры воздуха и суточных сумм осадков.

Сезонная региональная неоднородность распределения приземной температуры воздуха и осадков

Пространственное распределение среднесезонных значений приземной температуры воздуха и осадков в целом соответствует зональным особенностям, имея, при этом, для 1966-2020 гг. характерные региональные амплитуды. Как видно из таблицы 1 и рисунков 1, 2, 3, средняя приземная температура увеличивается к югу от 12.3 до 16.7 °С летом (диапазон 13.6 - 18.9 °С и 14.5 - 19.2 °С) с увеличением вдвое зимой – от -11.4 до -5.0 °С (диапазон -19.2 - -7.0 °С и 12.5 - 0.4 °С). Стандартное отклонение среднесезонных зимних температур в 1.5 раза больше вариабельности температур летнего периода, при этом мало меняясь по территории региона – от 1.1 - 1.2 и 2.5 - 3.0 °С. Среднесезонные летние осадки в два раза увеличиваются в южном направлении – от 176 до 340 мм (в диапазонах 138-250 мм и 144-478 мм), при увеличении стандартного отклонения в три раза, от 26.2 до 72.3 мм. Среднесезонные осадки зимнего периода по территории меняются мало, от 125 мм на севере до 145 мм на юге (диапазоны 115-341 мм и 124-478 мм); стандартное отклонение меняется от 25.7 до 26.8 мм.

Таблица 1.

Среднесезонные характеристики приземной температуры воздуха и осадков

Регион	Характеристики Лето / Зима	μ	σ	P 5%	N_0	P 95%
Баренцево море	Приземная температура воздуха, °C	12.3 / -11.4	1.06 / 2.61	5.5 / -24.7		18.7 / -1.3
	Осадки, мм	176 / 128	26.15 / 25.76		48 / 34	9.4 / 5.5
Балтийское море (Ленинградская обл.)	Приземная температура воздуха, °C	16.4 / -6.3	1.09 / 2.99	10.8 / -18.7		21.4 / 1.8
	Осадки, мм	234 / 124	54.01 / 26.36		52 / 36	12.4 / 6.5
Балтийское море (Республика Беларусь)	Приземная температура воздуха, °C	16.7 / -5.0	1.15 / 2.54	11.7 / -15.6		21.7 / 2.3
	Осадки, мм	340 / 145	72.26 / 26.82		50 / 35	13.3 / 6.5

μ – среднее; σ – стандартное отклонение; P 5% – персентиль 5 %; P 95% – персентиль 95%; N_0 – количество дней без осадков.

Особенности неоднородности характеристик уточнялись анализом крайних экстремальных порогов в их распределении (табл. 1). Особенность данного случая – экстремумы рассчитывались по суточным значениям зимнего и летнего сезонов (декабрь-февраль-март и июнь-июль август) для периода 1966-2020 гг. Для приземной температуры воздуха рассмотрены достаточно часто используемые в исследованиях персентили 5% и 95 % (далее P5 и P95, а также отрицательные и положительные экстремумы – соответственно кривой распределения). Поскольку для осадков существует неопределенность в оценке малых значений, в качестве аналога персентиль 5 % использовано число дней без осадков за сезон (далее N_0); положительный экстремум оценивался персентилем 95 %.

Отрицательные экстремумы летних температур увеличиваются с севера к югу в 2 раза – от 5.5 до 11.7 °C, тогда как положительные экстремумы различаются всего на 3 градуса, от 18.7 до 21.7 °C; зимой отрицательные экстремумы увеличиваются к югу – от -24.7 до -15.6, при однородном распределении положительных экстремумов – от -1.3 до 2.3 °C. Для осадков характерно незначительное увеличение к югу числа дней с отсутствием осадков (48-50 летом и 34-36 зимой) и положительных экстремумов (9.4 - 13.3 мм летом 5.5 - 6.5 мм зимой).

В результате, основные закономерности пространственных изменений средних значений характеристик в целом соответствуют изменениям положительных и отрицательных экстремумов – увеличиваясь с севера к югу. При этом более значимый контраст в пространственного распределения отмечается для отрицательных экстремумов температур.

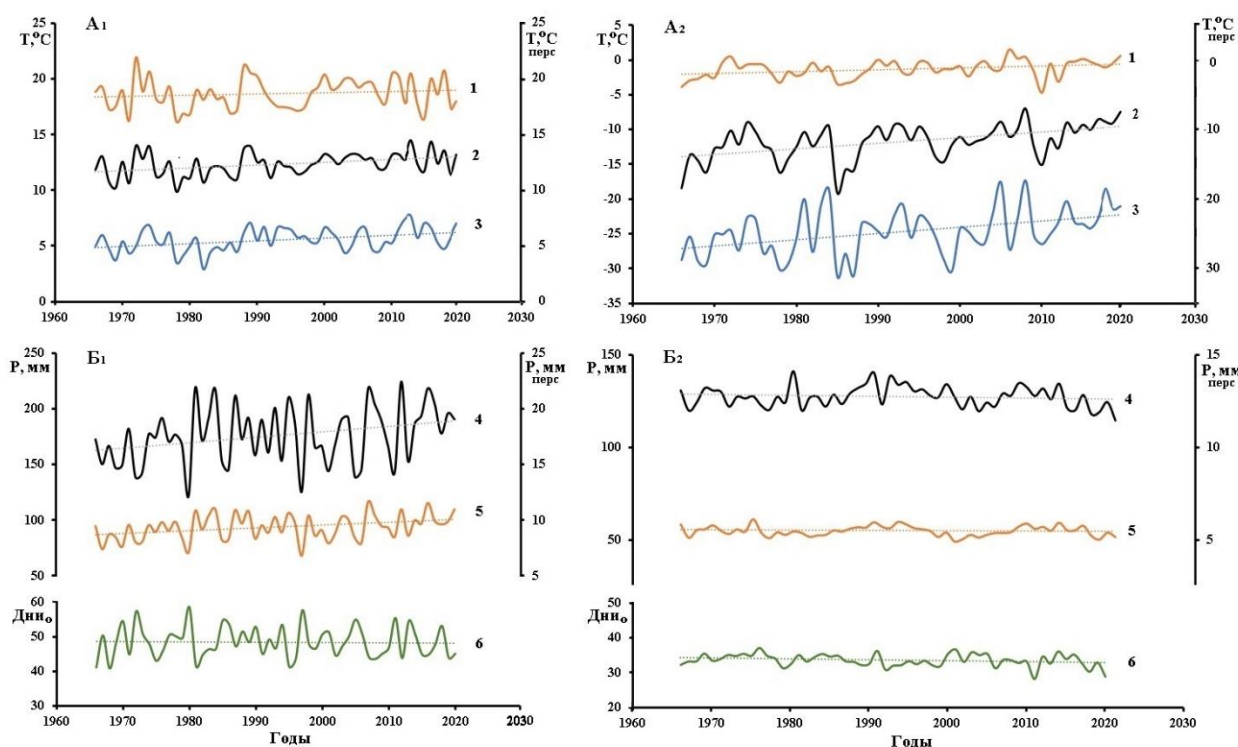


Рис.1. Многолетняя изменчивость летних (А1, Б1) и зимних (А2, Б2) характеристик водосбора Баренцева моря: А1, А2 – приземная температура воздуха перцентиль 95% ($T_{перс}, ^\circ\text{C} - 1$), среднее ($T, ^\circ\text{C} - 2$), перцентиль 5% ($T_{перс}, ^\circ\text{C} - 3$); Б – осадки, среднее ($P, \text{мм} - 4$), перцентиль 95% ($P_{перс}, \text{мм} - 5$), количество дней без осадков за сезон ($\text{Дни}_0 - 6$).

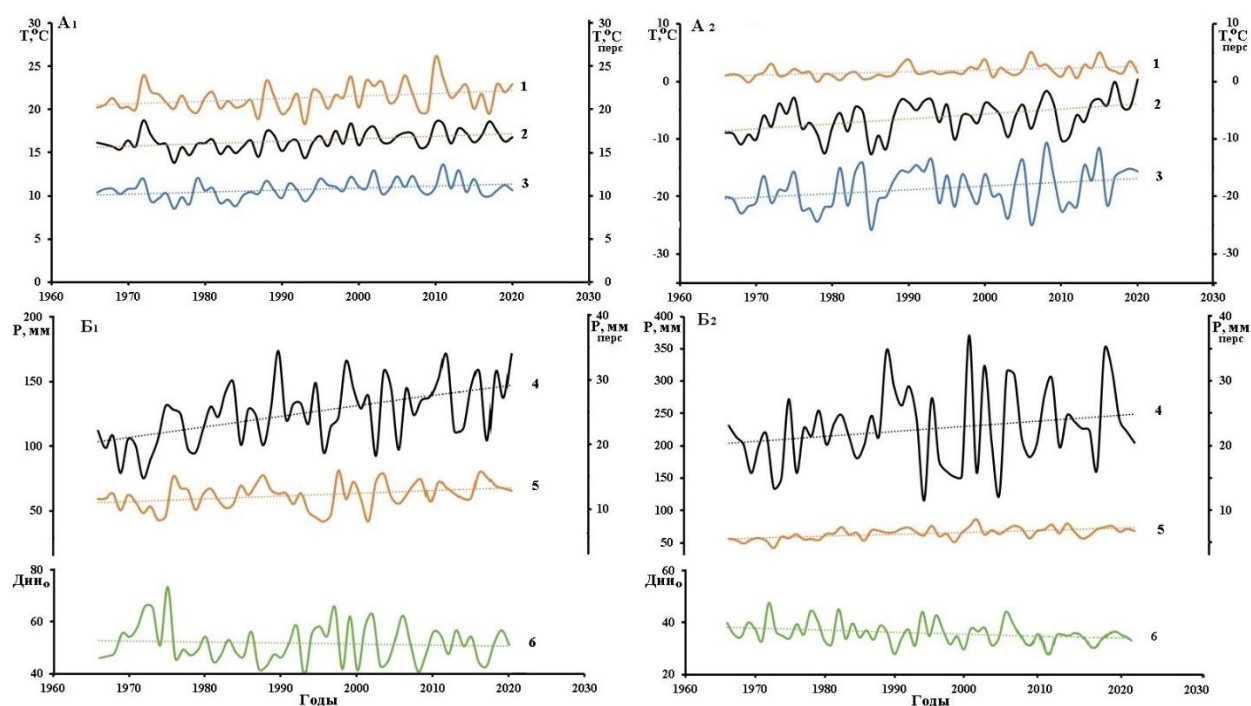


Рис.2. Многолетняя изменчивость летних (А1, Б1) и зимних (А2, Б2) значений характеристик восточной части водосбора Балтийского моря (Ленинградская обл.): обозначения – см. рис.1.

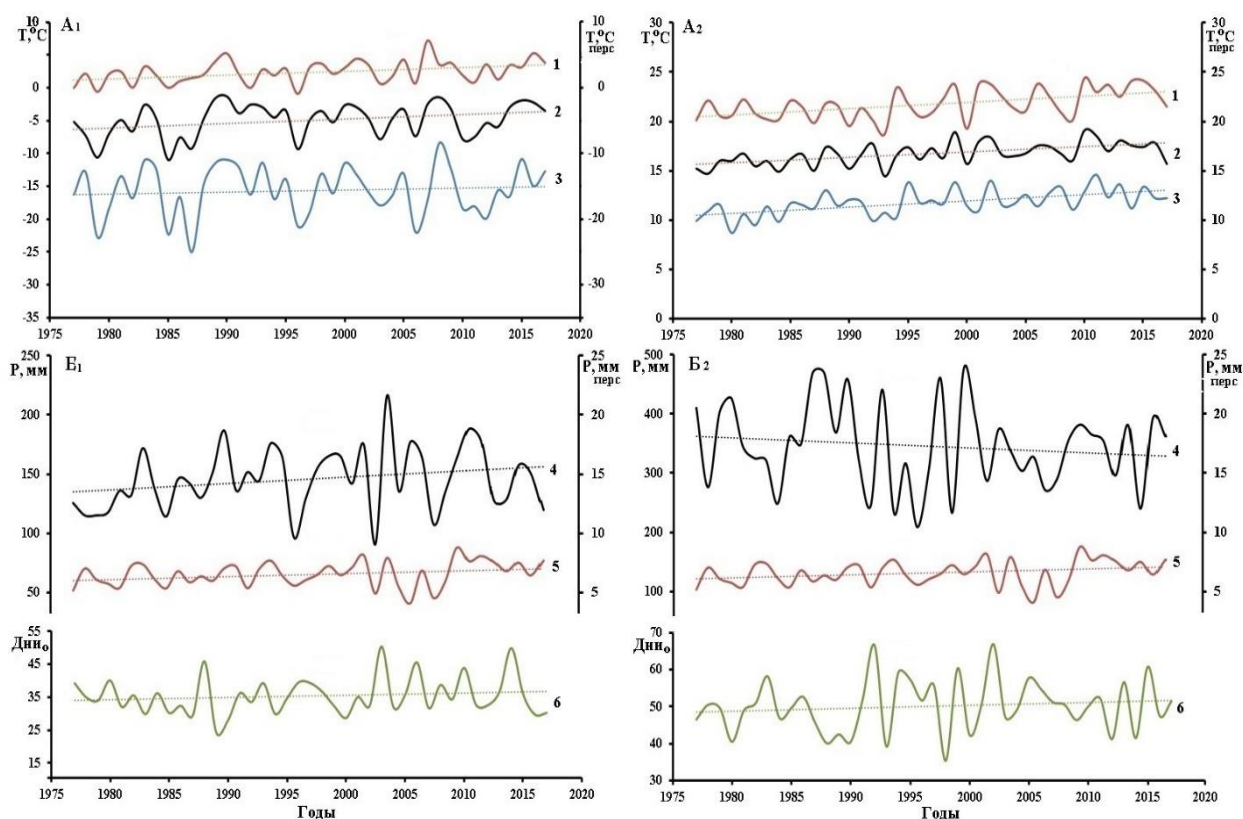


Рис.3. Многолетняя изменчивость летних (A1, B1) и зимних (A2, B2) значений характеристик восточной части водосбора Балтийского моря (Республика Беларусь): обозначения – см. рис.1.

Многолетняя региональная изменчивость приземной температуры воздуха и осадков

Как видно из таблицы 2, устойчивое в течение 1966-2000 гг. повышение среднесезонной приземной температуры воздуха наблюдается на всей исследуемой территории – более значимое зимой ($0.474 - 0.675^{\circ}\text{C} / 10 \text{ лет}$) по отношению к летнему периоду ($0.251 - 0.534^{\circ}\text{C} / 10 \text{ лет}$) – при положительных значимых коэффициентах линейных трендов перцентилей 95 % летнего и зимнего сезонов ($0.122 - 0.652 \text{ мм} / 10 \text{ лет}$ и $0.147 - 0.594 \text{ мм} / 10 \text{ лет}$), увеличивающихся с севера к югу. Отрицательные экстремумы значимы только для зимнего периода ($0.631 - 0.831 \text{ мм} / 10 \text{ лет}$).

Средние сезонные осадки имеют в целом тенденцию многолетнего увеличения в северной и средней частях региона и незначимые коэффициенты линейного тренда на юге региона. При незначимых повсеместно тенденциях многолетних изменений числа дней без осадков, увеличение средних осадков происходит на фоне многолетнего увеличения положительных экстремумов (табл. 2).

Может возникнуть ситуация, когда при отсутствии значимых изменений крайних экстремумов, среднее значение характеристики имеет значимые коэффициенты линейного тренда, что может быть обусловлено особенностями хода значений стандартного отклонения – но в нашем случае многолетние изменения значений стандартного отклонения приземной температуры воздуха и осадков незначимы. В таблице 3 приведены результаты анализа регрессионной зависимости линейного тренда средних значений метеорологических характеристик от трендов их крайних экстремумов. Общие коэффициенты регрессии для приземной температуры воздуха достаточно велики – $0.768 - 0.945$, будучи максимальными в северной части региона

Таблица 2.

Многолетняя изменчивость приземной температуры воздуха и осадков

Регион	Характеристики	Коэффициенты линейного тренда, 10 лет Лето / Зима				
		μ	σ	P 5%	N_0	P 95%
Баренцево море	Приземная температура воздуха, °C	0.251 / 0.474	0.201 / 0.176	0.248 / 0.891		0.122 / 0.147
	Осадки, мм	4.830 / -0.505	0.133 / 0.128		-0.793 / -0.308	0.241 / -0.140
Балтийское море (Ленинградская обл.)	Приземная температура воздуха, °C	0.296 / 0.849	0.800 / 0.043	0.232 / 0.656		0.299 / 0.307
	Осадки, мм	9.565 / 8.224	0.047 / 0.148		-0.250 / -0.783	0.419 / 0.322
Балтийское море (Республика Беларусь)	Приземная температура воздуха, °C	0.534 / 0.675	0.916 / 0.117	0.295 / 0.631		0.652 / 0.594
	Осадки, мм	5.341 / -1.611	0.520 / 0.076		0.817 / 0.704	0.652 / 0.252

μ – среднее; σ – стандартное отклонение; P 5% – перцентиль 5 %; P 95% – перцентиль 95%; N_0 – количество дней без осадков. Курсивом выделены незначимые на уровне 95 % коэффициенты линейного тренда.

Многолетний ход средней температуры воздуха летом сильнее связан с положительным экстремумом (бета-коэффициенты 0.573 - 0.723), зимой – с отрицательным экстремумом (бета-коэффициенты 0.585 - 0.720). Общие коэффициенты регрессии осадков также значимы (0.683 - 0.953), ведущим фактором многолетних изменений осадков является величина персентиля 95% - в прямой зависимости (0.432 - 0.808, при обратной зависимости от числа дней с отсутствием осадков (бета-коэффициенты -0.224 - -0.522).

Может возникнуть ситуация, когда при отсутствии значимых изменений крайних экстремумов, среднее значение характеристики имеет значимые коэффициенты линейного тренда, что может быть обусловлено особенностями хода значений стандартного отклонения – но в нашем случае многолетние изменения значений стандартного отклонения приземной температуры воздуха и осадков незначимы. В таблице 3 приведены результаты анализа регрессионной зависимости линейного тренда средних значений метеорологических характеристик от трендов их крайних экстремумов. Общие коэффициенты регрессии для приземной температуры воздуха достаточно велики – 0.768 - 0.945, будучи максимальными в северной части региона.

Таблица 3.

Регрессионные зависимости многолетнего хода средних значений приземной температуры воздуха и осадков с ходом отрицательных и положительных экстремумов.

Регион	Характеристики	Коэффициенты линейной регрессии Лето / Зима					
		R	P 5%	P 95%	R	N_0	P 95%
Баренцево море	Приземная температура воздуха, °C	0.943 / 0.945	0.445 / 0.621	0.723 / 0.491			
	Осадки, мм				0.953 / 0.678	-0.224 / -0.232	0.808 / 0.607
Балтийское море (Ленинградская обл.)	Приземная температура воздуха, °C	0.834 / 0.768	0.412 / 0.720	0.573 / 0.125			
	Осадки, мм				0.772 / 0.643	-0.341 / -0.314	0.486 / 0.401
Балтийское море (Республика Беларусь)	Приземная температура воздуха, °C	0.812 / 0.892	0.315 / 0.585	0.588 / 0.432			
	Осадки, мм				0.816 / 0.583	-0.395 / -0.522	0.430 / 0.432

Коэффициенты: R – общий; P 5% – перцентиль 5 % ; P 95% – перцентиль 95%; N_0 – количество дней без осадков.

Заключение

Показана степень региональной неоднородности пространственного и временного распределения значений приземной температуры воздуха и осадков северо-запада Восточно-Европейской равнины (водосборы Баренцева и Балтийского морей). Оцениваются особенности региональных различий современного метеорологического режима северо-запада Восточно-Европейской равнины на примере сравнения северной, центральной и южной частей региона (бассейн Баренцева моря, и Ленинградская область в России, а также водосбора Западной Двины в Республике Беларусь) – актуальность исследований заключается в необходимости уточнения существующих оценок крупномасштабных изменений климата. Региональные различия приземной температуры воздуха определяется увеличением к югу их летних значений в 1.4 раза и 2 два раза зимой, при этом многолетняя вариабельность зимних температур выше вариабельности летних в 1.5 раза при малых различиях по площади. Существенные пространственные изменения осадков происходят только в летний период – с увеличением к югу в 2 раза, с аналогичным увеличением значений стандартного отклонения к югу. Особенности изменчивости средних сезонных значений характеристик уточнялись анализом крайних экстремальных порогов в распределении исследуемых характеристик. Пространственное распределение как положительных, так и отрицательных экстремумов температуры воздуха соответствует распределению средних значений характеристик: увеличение значений к югу при большей амплитуде отрицательных экстремумов. Для осадков изменчивость экстремумов по территории незначительна. Как показал регрессионный анализ, общие коэффициенты регрессии для зависимости многолетнего хода средних значений характеристик от значений их экстремумов значимы – 0.768 - 0.945 для температуры воздуха и 0.683 - 0.953 для осадков. Ход средней температуры воздуха летом сильнее связан с положительным экстремумом, зимой – с отрицательным. Ведущим фактором многолетних изменений осадков выступает положительный экстремум в прямой зависимости, при обратной зависимости от числа дней с отсутствием осадков. Многолетние тенденции изменений сезонных значений стандартного отклонения незначимы, в связи с чем их вклад в изменчивость средних значений не рассматривался. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения оценок крупномасштабных изменений климата в том числе с использованием численного моделирования – и, соответственно, региональной трансформации ландшафтов.

Финансирование

Исследования российских соавторов выполнены при поддержке темы 0148-2019-0009 «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук.

Список литературы

1. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. / – Санкт-Петербург : Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, 2017. – 106 с. – ISBN 978-9500833-1-5.
2. Китаев Л. М., Влияние лесной растительности на тенденции локальной изменчивости снегозапасов / Л. М. Китаев, В. А. Аблеева, Ж. С. Асаинова // Труды Приокско-Террасного заповедника. – 2015. – Том 6. – С. 66-78.
3. Китаев Л. М. Изменчивость температуры почвы характерных ландшафтов Приокско-Террасного заповедника / Л. М. Китаев, В. А. Аблеева, Ж. С. Асаинова // Труды Приокско-Террасного заповедника.. – 2018. – Том 7. – С. 2-72.
4. Китаев Л. М. Снежный покров: особенности локального распределения в лесных массивах как возможный источник погрешностей спутниковых данных / Л. М. Китаев, А. С.

- Желтухин, Е. Д. Коробов, В. А. Аблеева // Известия РАН. Серия географическая. – 2020. – № 6. – С. 855–863.
5. В. Ф. Логинов. Изменения климата: тренды, циклы, паузы : моногр. / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий ; – Минск: Изд-во Беларуская навука, 2017. – 179 с. – ISBN 978-985-08-2127-0.
6. Мишон В.М. Снежные ресурсы и местный сток: закономерности формирования и методы расчета : моногр. / В.М. Мишон ; – Воронеж : Изд-во Воронежского университета, 1988. – 192 с. – ISBN 5745500409.
7. Мишон В. М. Река Воронеж и ее бассейн: ресурсы и водно-экологические проблемы : моногр. / В. М. Мишон ; – Воронеж : Изд-во Воронежского университета, 2000. – 296 с. – ISBN 5745511508.
8. Поликша Д. С. Влияние изменения климата на водный режим бассейна реки Западная Двина на территории Беларуси / Д. С. Поликша, И. С. Данилович, Е. Г. Квач // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2007. – № 3. – С. 208-212.
9. Попова В. В. Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции / В. В. Попова // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. – No 1. – 84-111 с.
10. Фролова Н. Л. Комплексное исследование и картографирование современного водного режима рек Европейской территории России / Н. Л. Фролова, М. Б. Киреева, Т. Е. Самсонов, А. Л. Энтин, В. Ю. Григорьев, А. А. Сазонов, Е. С. Повалишникова, В. Н. Семин // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения : материалы Всероссийской научной конференции «Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения», 8-14 сентября, Нижний Новгород. – Нижний Новгород : Из-во Студия Ф1, 2019. – С. 21-26.
11. Barnston A. G. Classification, seasonality, and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns / A. G. Barnston, R. E. Livezey // Monthly Weather Review. –1987. – No 115. – Pp. 1083–1126.
12. Partasenok I., Groisman P., Chekan G., Melnik V. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus / I. Partasenok, P. Groisman, G. Chekan, V. Melnik // Environ. Res. Lett. – 2014. – No 9 (ref. 095005). – Pp. 13-14.

© Кутаев Л. М., Данилович И.С., Акентьева Е.М., 2022

Крюкова София Андреевна,

Старший научный сотрудник, ФГБУ «Государственный заповедник «Пасвик»; 184421, Мурманская обл., Печенгский округ, пгт. Никель, Гвардейский пр-кт, 43;
email: kryukova@pasvik-reserve.ru

Поликарпова Наталья Владимировна,

кандидат географических наук, директор, ФГБУ «Государственный заповедник «Пасвик»; 184421, Мурманская обл., Печенгский округ, пгт. Никель, Гвардейский пр-кт, 43;
email: polikarpova-pasvik@yandex.ru

ОТКЛИКИ БИОТЫ НА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПРИМЕРЕ ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК»

АННОТАЦИЯ. В статье приводится обзор видов экологического мониторинга и методов сбора информации в заповеднике; констатируются тенденции изменений в растительном и животном мире, основной причиной которых, предположительно, является изменение климата; предлагаются меры для снижения неблагоприятных последствий изменения климата. Особо охраняемые природные территории могут стать экспериментальными площадками для исследования реакций растений и животных на изменение климата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: изменение климата, мониторинг, фенология, заповедник «Пасвик», Мурманская область.

Kryukova Sofia Andreevna,

Senior Researcher, «Pasvik» reserve; Nikel, Russia

Polikarpova Natalya Vladimirovna,

Candidate of Geography, Director, «Pasvik» reserve; Nikel, Russia

RESPONSES OF BIOTAS TO CLIMATE CHANGE ON THE EXAMPLE OF THE «PASVIK» RESERVE

ANNOTATION. The article provides an overview of the types of environmental monitoring and methods of collecting information in the reserve; the tendencies of changes in the flora and fauna are stated, the main reason for which, presumably, is climate change; proposed measures to reduce the adverse effects of climate change. Specially protected natural areas can become experimental sites for studying the reactions of plants and animals to climate change.

KEYWORDS: climate change, monitoring, phenology, «Pasvik» nature reserve, Murmansk region.

Изменение климата – глобальная проблема. И миллионы, и тысячи лет назад климат менялся под действием явлений планетарного масштаба: тектонических процессов, изменения орбиты и радиационного баланса Земли в целом. Столь же глобально и загрязнение атмосферы человеком сейчас – дополнительное воздействие, которое накладывается на естественные процессы. Понять причины изменений можно только зная ситуацию на всей планете [1].

Заметные изменения климата происходят и их можно наблюдать на локальном примере заповедника «Пасвик» в том числе. Государственный природный заповедник «Пасвик» находится на крайнем северо-западе России — в Печенгском районе Мурманской области, на границе с Норвегией. Заповедник расположен в долине реки Паз, на левом берегу. Устье реки находится в озере Инари, в Финляндии. Она впадает на территорию России, а затем в Баренцево море в Норвегии. С 2008 г. заповедник «Пасвик» является частью трёхстороннего трансграничного парка «Пасвик-Инари» (рис 1).

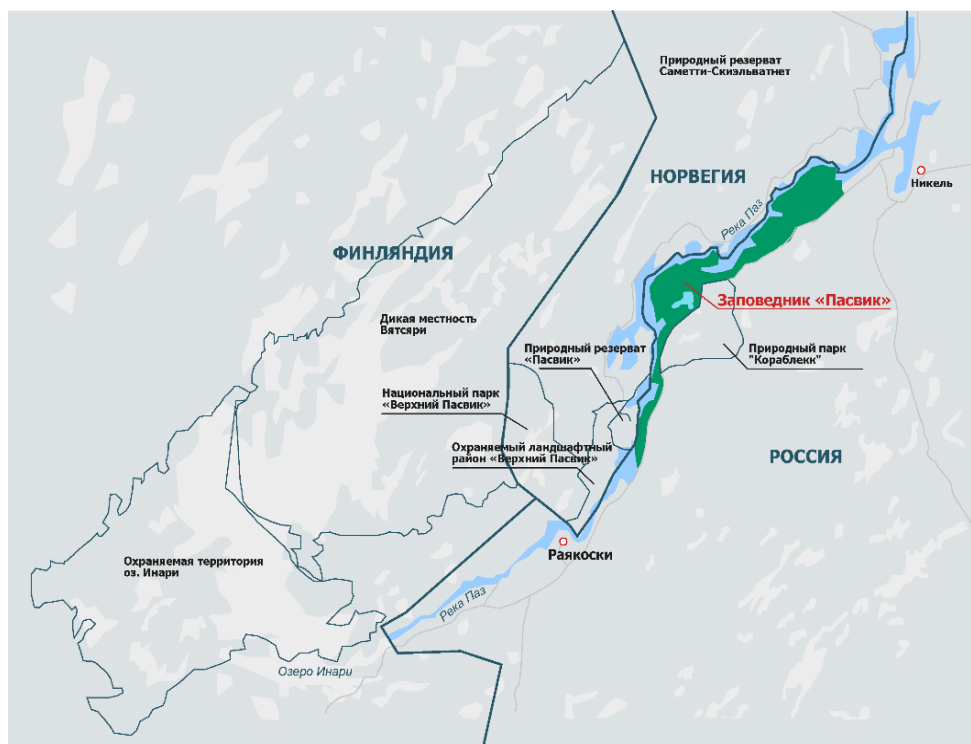


Рисунок 1. Единый трансграничный Трехсторонний парк «Пасвик-Инари»

Научная работа в заповеднике складывается из поисковых научных исследований и экологического мониторинга. Работа в рамках поисковых научных исследований заключается в инвентаризации объектов растительного и животного мира, тематическом картографировании, изучением экологии отдельных групп объектов, изучением текущего состояния и динамики развития основных природных комплексов, решением фундаментальных научных и научно-практических задач.

Государственный экологический мониторинг включает измерение биотических и абиотических параметров окружающей среды на территории заповедника в рамках программы «Летопись природы», ведение многолетних рядов наблюдений. В рамках мониторинга собираются следующие данные: метеорологические параметры (температура и относительная влажность атмосферного воздуха, скорость и направление ветра, количество осадков и др.); данные по фенологии растений, по продуктивности основных компонентов растительности, по численности фоновых видов птиц и млекопитающих [2].

Для метеорологической характеристики заповедника с 1993 г. по настоящее время используются данные двух станций Росгидромета – в п. Янискоски и пгт Никель. Станция мониторинга Янискоски принадлежит сети станций трансграничного переноса загрязняющих воздух веществ (программа наблюдений ЕМЕП). Данная сеть обеспечивает как национальные потребности в данных фонового мониторинга, так и выполнение международных обязательств Российской Федерации, в том числе в рамках Конвенции по трансграничному переносу загрязнений на большие расстояния Экономической комиссии ООН для Европы [3]. В 2016 г. в южной части заповедника установлена и функционирует автоматическая метеостанция Davis VantagePro2 (проводная), показания с которой снимаются регулярно в течение года.

В течение всего года в заповеднике ведутся непрерывные наблюдения на маршрутах и стационарных площадках мониторинговой сети. Мониторинговая сеть включает:

- 2 пробных площади по учету урожайности сосны,
- 4 пробных площади по учету урожайности ягодников,
- 2 фенологических маршрута,
- 1 маршрут и 1 пробная площадь по учету урожайности грибов,
- 2 водных маршрута по учету водоплавающих птиц,

10 маршрутов для учета воробьиных птиц,
7 маршрутов по учету тетеревиных птиц,
1 стационар по учету мелких млекопитающих,
12 маршрутов ЗМУ,
14 стационаров лесопатологического мониторинга.

При этом сама сеть постоянно расширяется и уточняется.

Для сбора полевого материала по фенологии с 1993 г. используются фенологические маршруты. Для хранения и обработки данных, собираемых на феномаршрутах, и работы над календарём природы разработана и ежегодно пополняется электронная база данных - фенокартотека. Научным отделом ведётся регистрация сезонных природных процессов и явлений, рассчитываются средние многолетние значения, производится обмен данными между заповедниками Мурманской области.

Анализируя реакции биоты становится возможным констатировать изменения. Заметны изменения в мире растений. По результатам обработки фенологических данных наблюдается тенденция к уменьшению номера дня (сквозной даты) по международной шкале для ряда видов, что свидетельствует о более ранней дате регистрации того или иного фенологического явления (распускание листьев, цветение, поспевание и т.д.). На рисунке 2 в качестве примера приводится многолетняя динамика зацветания морошки на феномаршрутах заповедника. Линия тренда показывает уменьшение номера дня (сквозной даты), что говорит о более раннем наступлении фазы цветения с течением времени.



Рисунок 2. Динамика зацветания морошки (лат. *Rubus chamaemorus*) на феномаршрутах заповедника «Пасвик»

Происходят изменения и в животном мире. Последние годы наблюдается нарушение цикличности колебаний численности норвежского лемминга (*Lemmus lemmus*). Это вид-эндемик и его отсутствие и/или изменение динамики его численности может свидетельствовать об изменениях в северных экосистемах. Регистрируются сведения об изменениях границ ареалов некоторых видов. Отмечается продвижение на север бурого медведя, что, возможно связано с климатическим изменением границ лесной зоны. Вероятно, что у медведя в настоящее время наблюдается восстановление древнего ареала обитания так же, как и у лося [4]. Нельзя говорить о том, что всё дело в изменениях климата: вероятно, одновременно действуют немало различных факторов, но климат – один из них.

Сотрудниками заповедника «Пасвик» регистрируются наблюдения от местных жителей. Например, в 2016 г. зарегистрировано сообщение от местного жителя пос. Раякоски о наблюдении гадюки в окрестностях заповедника недалеко от его южной границы. Ранее в 1983 г. крайняя северная точка ареала гадюки в Мурманской области ограничивалась северной границей территории Лапландского заповедника. Но авторы очерка о гадюке обыкновенной в Красной книге Мурманской области, выпущенной в 2014 г. [5], сообщают уже о новых точках наблюдений змей в Мурманской области: в районе Ковдского

полуострова, в окрестностях Кировска, Алакуртти и Мурманска. При анализе достаточного количества достоверной информации можно будет судить о действительном продвижении вида на север.

Одними из основных индикаторов изменений окружающей среды являются птицы. Ежегодно на протяжении многих лет в заповеднике проводятся учёты численности, регистрация наблюдений разных видов птиц, регистрируются сроки прилёта и отлёта фоновых видов птиц, проводится кольцевание воробьиных. Наблюдается уменьшение сроков прилёта ряда видов, увеличение частоты встреч залётных видов, появляются виды, которых не было ранее [6].

По мнению Зацаринного И. В., специалиста-орнитолога, кандидата биологических наук, заведующего научной лабораторией эволюционной экологии Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина – наиболее вероятно, что именно изменения климата играют основную роль в следующих явлениях, наблюдаемых в заповеднике и окрестностях:

- среди водоплавающих птиц становится больше широконоски (*Anas clypeata*), периодически встречаются некоторые экзотические для местных широт виды вроде поганок (*Podiceps*);
- массовое расселение большой синицы (*Parus major*) за последние 25 лет (рис. 3);
- зяблик (*Fringilla coelebs*) стал обычным видом, когда ранее был залётным;
- массовое появление мухоловки-пеструшки (*Ficedula hypoleuca*) в лесных экосистемах;
- регулярное появление поющих самцов зарянки (*Erithacus rubecula*), пеночки-теньковки (*Phylloscopus collybita*);
- более регулярные встречи стрижей (*Apus apus*), деревенской ласточки (*Hirundo rustica*);
- сравнительно регулярные вальдшнепа (*Scolopax rusticola*);
- в лесных экосистемах сейчас регулярно встречается дятла (*Turdus viscivorus*) и черный дрозд (*Turdus merula*);
- периодически, даже в гнездовой период, встречаются длиннохвостые синицы (*Aegithalos caudatus*), вяхирь (*Columba palumbus*).

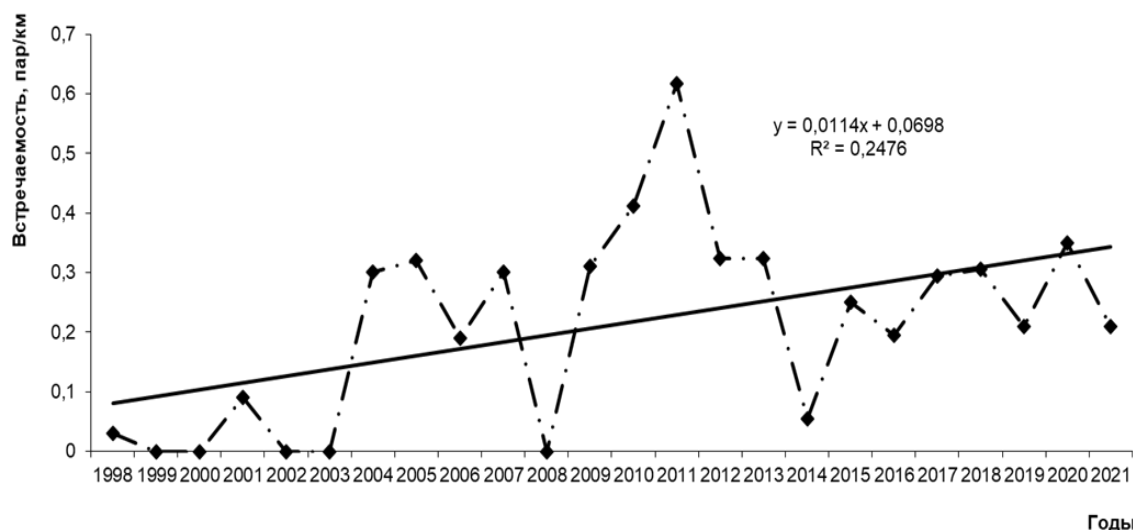


Рисунок 3 . Тенденция изменения численности большой синицы (лат. *Parus major*) в окрестностях заповедника «Пасвик»

В заповеднике проводится кольцевание птиц. Метод даёт интересные результаты по перемещениям птиц, позволяет уточнить пути сезонных миграций птиц, уточнить данные полевых учетов, выявить фоновые виды, динамику их численности, приуроченность к биотопам. В связи с тем, что территория заповедника «Пасвик» является приграничной,

кольцевание птиц здесь может дать интересные результаты по их летним трансграничным перемещениям птиц, проследить взаимосвязь сроков возвращения перелётных птиц и метеорологических факторов.

На протяжении многих лет с момента основания заповедника его сотрудники принимали активное участие в проектах трансграничного сотрудничества и инициативах, которые предпринимались совместно с соседними партнёрами для защиты общих природных ресурсов. Целью проектов являлось оказание содействия в защите окружающей среды, улучшение эффективности систем водного управления и отходов, управление природными ресурсами и смягчение последствий изменений климата. В ходе международного проекта «Трёхсторонние экологические вызовы в общем природном регионе» («Trilateral cooperation on Environmental Challenges in the Joint Border Area», ТЕС 2012-2014) развивалось сотрудничество между научными и природоохранными организациями России, Норвегии и Финляндии, которые работают в регионе Пасвик-Инари. Главными итогами проекта стали: гармонизация и развитие методов экологического мониторинга окружающей среды и ее компонентов, фокусирование внимания на изменении климата и регулировании уровня воды в бассейне Инари-Паз, мониторинг чужеродных видов, мониторинг здоровья человека [7]. В рамках проекта была разработана модель оценки воздушного загрязнения в связи с изменениями климата. Эту задачу выполняли Мурманское Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета и норвежский институт охраны воздуха (NILU). Анализ метеоданных за более чем 50-летний период показал, что средняя годовая температура воздуха действительно повышается, особенно в последние десятилетия. В основном температура повышается в зимний период. Выделяют рост осенних температур и более теплые зимы в Мурманской области. Скорость повышения температуры выше на участках, приближенных к побережью Баренцева моря. Растет число дней с абсолютными максимумами температур. В целом, отмечено смягчение климата для пограничного региона.

Истинные причины тенденций изменений в растительном и животном мире пока недостаточно понятны, они требуют дополнительных исследований. Помимо климата есть разные другие факторы, которые могут влиять на структуру местообитаний, обилие и постоянство источников корма, формирование защитных условий и т.д. Появление новых видов может угнетать коренных обитателей Арктики.

В качестве предлагаемых мер для контроля негативных последствий изменений климата предлагается комплексный мониторинг за состоянием экосистем. Важная роль при этом принадлежит особо охраняемым природным территориям. Они могут стать пилотными площадками для исследований, играть роль «научно-исследовательских лабораторий под открытым небом». Заповедники представляют собой природные комплексы с ненарушенной хозяйственной деятельностью человека природой. Особенно важны при этом долгосрочные исследования, которые вносят существенный вклад в понимание и анализ природных процессов и позволяют отследить то, как природа будет развиваться без влияния хозяйственной деятельности человека. Естественные процессы, протекающие на заповедной территории, могут представлять интерес для специалистов самых разных направлений. Большую важность имеет гармонизация методов – определение единого перечня параметров для мониторинга, обмен результатами, сотрудничество между природоохранными организациями и разными странами. Внедрение автоматических систем сбора и обработки информации, «гражданская сеть» мониторинга, открытость его данных и их аккумуляция на общей платформе – имеют шансы стать эффективными инструментами мониторинга. Всё это позволяет работать с данными всем заинтересованным сторонам.

Список литературы

1. Кокорин А.О., Смирнова Е.В., Замолотчиков Д.Г. Изменение климата. Книга для учителей старших классов общеобразовательных учреждений. Вып. 1. Регионы севера европейской части России и Западной Сибири. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. – 220 с.

2. Летописи природы, архивы и отчеты заповедника «Пасвик» 1993-2020 гг.
3. Обзор фоновое состояние окружающей среды на территории стран СНГ за 2018 год. Под ред. Профессора Г.М. Черногаевой. Росгидромет, 2019 г.
4. Макарова О.А. К динамике ареалов крупных наземных млекопитающих Мурманской области в начале XXI века // Современные проблемы зоо- и филогеографии млекопитающих. Материалы конференции (Пенза, 15-20 мая 2009 г.). М.: товарищество научных изданий КМК, 2009. С. 51.
5. Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Отв. ред. Н.А. Константинова, А.С. Корякин, О.А. Макарова, В.В. Бианки. – Кемерово: «Азия-принт», 2014. – 584 с.
6. Макарова О.А., Аспхольм П.Э., Гюнтер М. Залёты золотистой щурки на границе России и Норвегии // Поведение, экология и эволюция ж-х: монографии, статьи, сообщения/ под общ. ред. В.М. Константинова. Т. 2. Рязань: НП «голос губернии», 2011. – С. 366-368.
7. Изучение и сохранение природы в приграничном регионе Пасвик-Инари / Сост. Л. Н. Александрова, Н. В. Поликарпова, М. Г. Трусова и др. Рязань: НП «Голос губернии», 2015. 120 с.

© Крюкова С.А., Поликарпова Н.В., 2022

Линник Елена Викторовна

ФГБУ «Государственный природный заповедник «Курильский», 694500 Россия, Сахалинская область, пгт Южно-Курильск, ул. Заречная, д.5 elen-linnik@yandex.ru

ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА *MAGNOLIA OBOVATA* THUNB. В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ОСТРОВЕ КУНАШИР (САХАЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

АННОТАЦИЯ. В статье приводятся результаты фенологических наблюдений за модельными деревьями *Magnolia obovata* в период с 1997 по 2021 годы, которые произрастают на территории охранной зоны заповедника «Курильский». Проанализированы сроки наступления фаз начала и конца вегетации, начала и конца цветения, рассмотрена зависимость их наступления от температурных условий за предшествующих двухнедельный период. Отмечено увеличение продолжительности вегетации и цветения, определен устойчивый тренд в смещении сроков начала цветения *M. obovata* на более ранние даты, что коррелирует с более ранними сроками прихода летнего сезона на остров Кунашир.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фенофаза, сроки вегетации, цветения, сезон, сумма температур.

Linnik Elena Viktorovna

Federal State-Funded Institution «Kurilsky Nature Reserve», Sakhalin region, Yuzhno-Kurilsk, Russia

PHENOLOGICAL OBSERVATIONS OF *MAGNOLIA OBOVATE* THUNB. IN NATURAL CONDITIONS ON KUNASHIR ISLAND (SAKHALIN REGION)

ANNOTATION. The article presents the results of phenological observations of model trees of *Magnolia obovata* from 1997 to 2021, which grow on the protected areas of the Kurilsky Nature Reserve. The timing of the onset of the phases of the beginning and end of vegetation, the beginning and end of flowering, the dependence of their onset on temperature conditions for the previous two-week period is considered. An increase in the duration of vegetation and flowering was noted, the steady trend in the shift in the timing of the beginning of flowering was determined *M. obovata* for earlier dates, which correlates with earlier dates of the arrival of the summer season on Kunashir Island.

KEYWORDS: phenophase, terms of vegetation, flowering, season, sum of temperatures.

Введение

Magnolia obovata Thunb. (*Magnolia hypoleuca* Siebold et Zucc.) (магнолия обратнаяцевидная (магнолия снизу-белая) семейства Magnoliaceae - листопадное дерево высотой до 15 м, с крупными кожистыми листьями и крупными цветками кремовой окраски. Цветет в июне-июле, плодоносит в сентябре-октябре. Размножается семенами, в распространении которых участвуют птицы (кедровка, белоспинный и черный дятлы, дрозды), а массовому возобновлению препятствует густой подлесок из бамбучника (р. *Sasa Makino & Shibata*), выедание семян мышевидными грызунами. Растет в хвойно-широколиственных и широколиственных лесах, одиночно или небольшими группами. Имеет статус исчезающего вида [5]. В России естественные места произрастания магнолии находятся на острове Кунашир в Сахалинской области, где проходит северно-восточная граница ареала вида (рис.1).

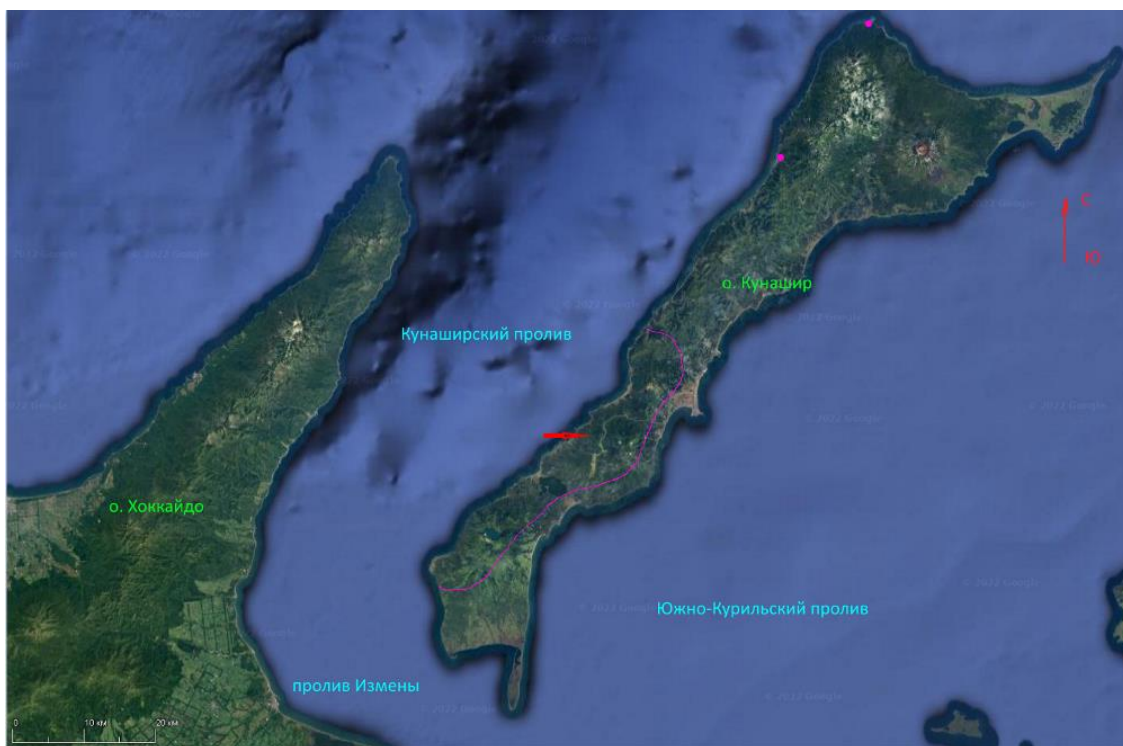


Рис. 1. Ареал распространения *M. obovata* на территории острова Кунашир (розовая линия, розовые точки); месторасположения модельных деревьев *M. obovata* (красная стрелка)

Климат Кунашира морской муссонный с мягкой и снежной зимой, холодной и дождливой весной, прохладным и туманным летом, теплой и продолжительной осенью. Среднегодовая температура $+5,7^{\circ}\text{C}$, самый холодный месяц февраль, самый теплый - август. Температурный режим острова формируется под влиянием окружающих водных пространств и циркуляции воздушных масс. Со стороны Кунаширского пролива климат более континентальный. Почти весь вегетационный период Кунашир находится под воздействием муссонов, дующих с юга - юго-востока. Проходя над холодными водами течения Оясио, эти ветры несут туманы со стороны Южно-Курильского пролива, которые задерживаются Докучаевским хребтом и проходят на запад только по проливам и перешейкам. Поэтому на охотской стороне летом значительно больше солнечных дней и это является одной из причин богатства растительного мира и присутствия элементов маньчжурского и северояпонского флористических комплексов [1]. Магнолия относится к реликтовым теплолюбивым растениям, которые произрастали до оледенения, поэтому потребность в тепле у неё больше, чем у других. На острове Хоккайдо (Япония), где расположен основной ареал произрастания *M. obovata*, магнолия цветет в более ранние сроки - в начале июня. Так 16 июня 2002 года магнолия цвела на большей части острова Хоккайдо, а на Кунашире в 2002 году первые цветки появились только 26 июня [3]. *M. obovata* обладает декоративными качествами - крупные листья, большие и ароматные цветки, что особо привлекает посетителей в период цветения (рис.2).



Рис. 2. Цветок *M. obovata* одного из модельных деревьев 27.06.2021г. Автор фото Елена Линник

Наступление фенофаз у растений определяется температурным режимом. Потребность растения в тепле выражается суммой активных температур. Цель исследования - проанализировать продолжительность вегетации, цветения, сроки наступления фенофаз цветения *M. obovata* и выявить отклик растения в фазе цветения на изменения метеопараметров окружающей среды (температуры воздуха).

Материалы и методы

Фенологические наблюдения в заповеднике «Курильский» являются неотъемлемой частью слежения за состоянием уникальных экосистем острова по программе «Летопись природы». Фенологический маршрут (ФМ) №3 «Тропа Столбовская» расположен в охранной зоне заповедника «Курильский» и представлен типичными для острова растительными сообществами (молодой березняк, пихтовый жердняк, старовозрастной смешанный реликтовый лес, долинный лес). Экологическая тропа Столбовская – наиболее посещаемое место местными жителями и гостями острова, в том числе из-за возможности увидеть магнолию в естественной среде обитания.

Наблюдения за *M. obovata* на ФМ проводятся с 1997 года. Фенологию сообществ на постоянных фенологических маршрутах вели сотрудники научного отдела заповедника: к.б.н. Еременко Н.А. [6-14]; к.с.-х.н. Ступина Н.В. [15, 17]; Бобырь А.И. [16]; Линник Е.В. [17-23]. В течении этого периода были годы, когда наблюдения не проводились или проводились sporadически, поэтому не вошли в общий анализ: 2004, 2005, 2008, 2009, 2013, 2015 годы. За весь период наблюдений отмечались даты наступления 17 фенофаз для древесных растений, из которых 9 генеративные [6]. Использовался первичный описательный метод определения даты наступления фенофазы [2]. Число деревьев *M. obovata* на тропе – более 30. В качестве модельных деревьев выбраны 2 особи *M. obovata* на участке старовозрастного смешанного реликтового леса, удаленные друг от друга на 1 км. Первое модельное дерево одноствольное, с диаметром ствола 26 см и высотой 11 м, второе - многоствольное, диаметр самого крупного ствола 33 см, высота 12 м. Угнетений со стороны других деревьев не отмечено.

Метеоданные получены через сайт <https://tr5.ru/> со стационарного метеопоста в пгт. Южно-Курильск, расположенного в 16 км от места произрастания модельных деревьев *M. obovata* и представлены в Летописи природы [6-23]. В работе исследовалась температура воздуха, как составная часть погоды. Отмечались среднесуточные, максимальные и минимальные температуры на момент начала цветения, а также подсчитывалась сумма активных температур за 14 дней до начала цветения. Проанализирован ход среднегодовых температур за последние 25 лет.

Для анализа фенологии магнолии взяты даты начала и конца вегетации, а также фазы цветения. Признаками «начала вегетации» принята фенофаза набухания почек, когда листовые почки у деревьев заметно увеличиваются в размерах, между чешуями почки появляются светлые просветы. Признаками «конца вегетации» принята фенофаза конец листопада, когда на дереве остаются лишь отдельные листочки. Признаком «начала

цветения» принято появление на дереве первого раскрывшегося цветка, «конца цветения» - когда все лепестки у цветков приобрели темную окраску [25].

Результаты

Обобщенные результаты фенологических дат для *M. obovata* за период наблюдений представлены в таблице 1.

В результате фенологических наблюдений в течение 19 лет средняя продолжительность вегетационного периода *M. obovata* составила 204 дня. Минимальное значение (161 день) в 2011 году, максимальное (217 дней) в 2020 году. Отмечена тенденция к увеличению продолжительности вегетации (рис. 3). В условиях интродукции в Ботаническом саду-институте (БСИ) ДВО РАН (г. Владивосток) период вегетации *M. obovata* по наблюдениям 2011-2016 годов составлял 177 ± 5 дней [4].

Таблица 1.

Фенологическая таблица с обобщенными данными за 1997-2021 годы

показатель/феноявление	число лет наблюдений	средняя дата	стандартное отклонение
начало роста почек	19	24.04	13
начало распускания почек	19	20.05	11
начало разворачивания листьев	19	28.05	9
начало роста побегов	19	06.06	9
конец роста побегов	19	18.07	10
бутонизация	19	12.06	9
начало цветения	19	28.06	8
массовое цветение	19	07.07	7
конец цветения	19	21.07	7
начало созревания	19	04.09	23
массовое созревание	19	29.09	16
начало осенней раскраски	19	01.09	18
массовая осенняя раскраска	19	09.10	11
полная осенняя раскраска	19	22.10	11
начало листопада	19	20.09	15
массовый листопад	19	21.10	11
конец листопада	19	05.11	9

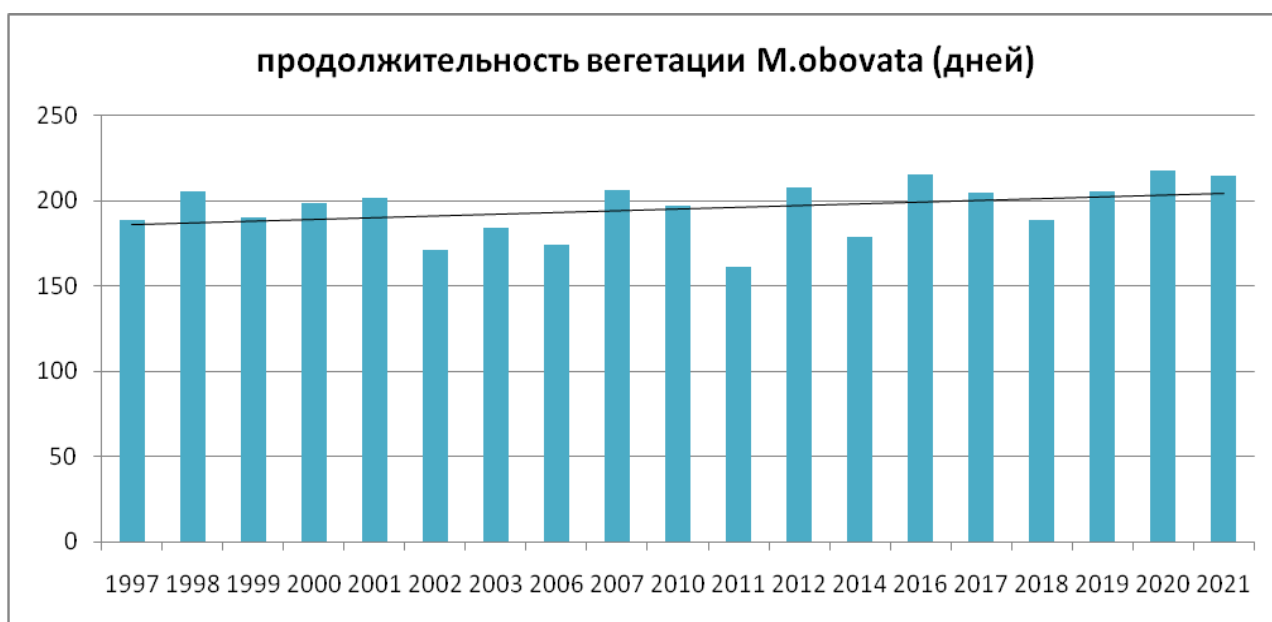


Рис. 3. Продолжительность вегетации *M. obovata* на острове Кунашир за период наблюдений

Средняя продолжительность цветения *M. obovata* на ФМ составила 23 дня, минимальное значение отмечено в 2001 году - 13 дней; максимальное в 1998 году – 33 дня. Отмечается увеличение продолжительности цветения (рис. 4).



Рис. 4. Продолжительность цветения *M. obovata* на острове Кунашир за период наблюдений

Средняя дата начала цветения *M. obovata* составляет 27 июня, самая ранняя 12 июня (2019 год), самая поздняя 11 июля (2006 год). Разница крайних дат составляет 29 дней. Отмечается устойчивый тренд на смещение сроков начала цветения на более ранние даты, что может быть результатом влияния температурного фактора. По мнению Каменевой Л. А., более высокие температуры во время начала цветения могут влиять на смещение даты сроков наступления последующих периодов (массового цветения и конца цветения) на более поздние сроки [4]. Однако, наши наблюдения показывают, что увеличение средней и максимальной температуры дня на дату начала цветения *M. obovata* не сдвигает последующие даты цветения на более поздние сроки. (рис. 5, 6).

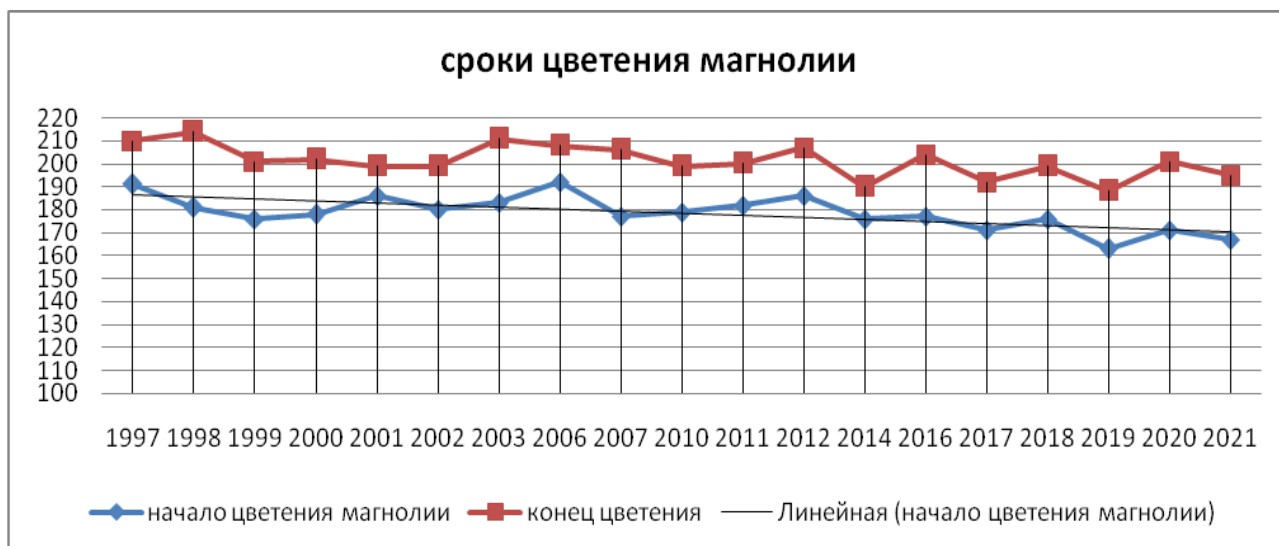


Рис. 5. Сроки цветения *M. obovata* на острове Кунашир за период наблюдений

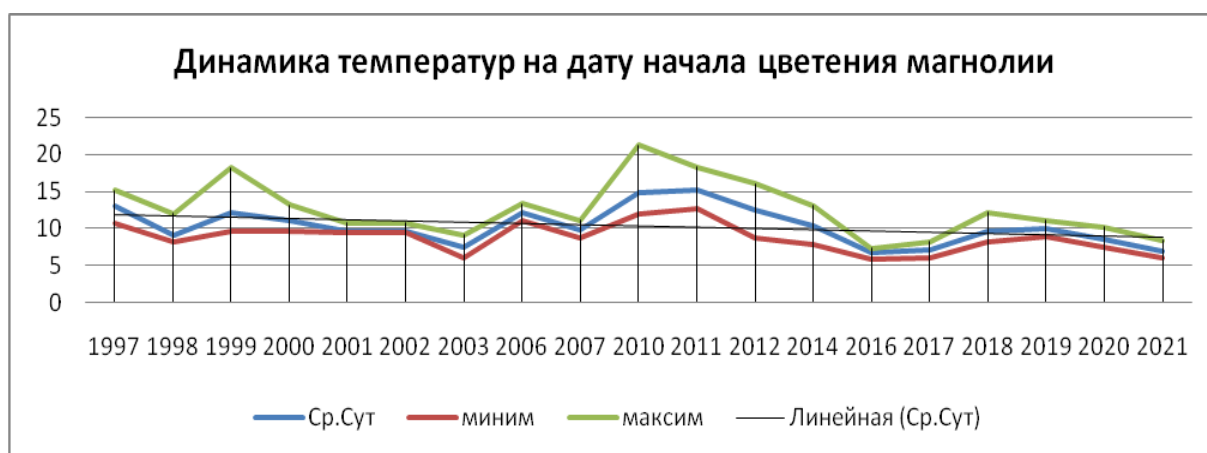


Рис. 6. Динамика температур на дату начала цветения *M. obovata* на острове Кунашир за период наблюдений

Четкой закономерности зависимости наступления фенофазы от хода температур не прослеживается, что отмечали Макаренко В.П. и др. в своих наблюдениях за фенологией бархата амурского[24].

Наблюдения показали, что цветение *M. obovata* происходит в конце подсезона «Зеленая весна» (переход минимальных температур через $+5^{\circ}\text{C}$), в начале летнего сезона (подсезон «Перволетье»), наступление которого определяется переходом среднесуточных температур через $+10^{\circ}\text{C}$ и продолжается до наступления подсезона «Полное лето», когда среднесуточные температуры переходят $+15^{\circ}\text{C}$ [3]. Средняя дата начала подсезона «Перволетье» за период наблюдений составила 23 июня. Самая ранняя - 6 июня 2021 года, самая поздняя - 8 июля 2003 года. Разница крайних дат составляет 32 дня. Отмечен небольшой сдвиг на более ранние даты наступления подсезона «Перволетье» на Кунашире.

Для наступления фенофазы «начало цветения» магнолии, как теплолюбивому виду, по нашим наблюдениям, требуется переход температур через $+5^{\circ}\text{C}$. Сумма активных температур за двухнедельный срок в среднем составила $71,88^{\circ}\text{C}$ (минимальное - $22,4^{\circ}\text{C}$ в 2016 году; максимальное - $102,4^{\circ}\text{C}$ в 2010 году) До 2016 года сумма температур менялась скачкообразно, с 2016 года отмечается рост суммы температур и отклик магнолии, выражающийся в постепенном переходе начала цветения на более ранние сроки (рис. 7).



Рис. 7. Сумма активных температур за 14 дней до даты начала цветения *M. obovata* за период наблюдений

Анализ среднегодовых температур за последние 25 лет показал, что среднее значение среднегодовой температуры составляет $+5,4^{\circ}\text{C}$, максимальная среднегодовая температура $+6,3^{\circ}\text{C}$ зафиксированы в 2004 и 2010 годах, минимальные - $+4^{\circ}\text{C}$ в 2001 году. Прослеживается устойчивый тренд в сторону повышения среднегодовых температур, что, очевидно, повлияло на увеличение продолжительности вегетации и цветения магнолии (рис.8)



Рис. 8. Среднегодовая температура за период 1997-2021 годы по данным стационарного метеопоста в пгт. Южно-Курильск

Выводы

1. Продолжительность вегетационного периода *M. obovata* составляет от 161 до 217 суток с трендом в сторону увеличения.
2. Продолжительность периода цветения *M. obovata* составляет от 13 до 33 суток с трендом в сторону увеличения.
3. Начало цветения *M. obovata* приходится на начало подсезона «Перволетье», когда среднесуточные температуры воздуха переходят через $+10^{\circ}\text{C}$. Цветение магнолии можно использовать как фитоиндикатор наступления лета на Кунашире.
4. Сроки начала цветения *M. obovata* смещаются на более ранние в среднем на 6 дней.
5. Не выявлено влияние изменения хода среднесуточных, максимальных и минимальных температур в дни «начала цветения» *M. obovata* на сроки наступления последующих дат

цветения и увеличения продолжительности цветения. Отмечен тренд к снижению среднесуточной температуры за анализируемый период времени на 0,8°C.

6. Для начала цветения магнолии необходим переход температур через +5°C и накопление суммы активных температур за двухнедельный период более 23°C. Повышение накопленного тепла сдвигает сроки начала цветения на более ранние.

7. Увеличение среднегодовых температур за последние 25 лет оказывает влияние на увеличение сроков вегетации и цветения *M. obovata*, как представителя южных теплолюбивых растений.

Необходимо продолжить наблюдения за наступлением основных феноявлений у *M. obovata*, рассмотреть влияние комплекса феноклиматических факторов (влажность, количество осадков, давление) на развитие *M. obovata* на разных стадиях вегетации для детального анализа фенологических сдвигов, как следствия глобального изменения климата.

Список литературы

1. **Баркалов, В.Ю.** Флора природного заповедника «Курильский» и заказника «Малые Курилы» (Сахалинская область) / В.Ю. Баркалов, Н.А. Еременко. - Владивосток : Дальнаука, 2003. - 285 с. - ISBN 5-8044-0360-5. - Текст : непосредственный.
2. **Батманов, В.А.** Заметки по теории фенологических наблюдений / В.А. Батманов // Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока, ч. 1. – Иркутск : Сибирское книжное изд., 1967. – 203 с. - Текст : непосредственный.
3. **Еременко, Н.А.** Сезонное развитие растений и растительных сообществ Южных Курильских островов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Еременко Наталья Александровна; Биолого-почвенный институт ДВО РАН. - Владивосток, 2004. - 476 с. - Библиогр.: с. 451–464. Текст : непосредственный
4. **Каменева, Л.А.** Биология цветения и плодоношения у представителей рода *MAGNOLIA* L. (*MAGNOLIACEAE* JUSS.) в условиях культуры на юге Российского Дальнего востока : специальность 03.02.01 – «Ботаника» : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Каменева Любовь Анатольевна; ФГБУН Ботанический сад-институт ДВО РАН. - Владивосток, 2018. - 140 с. - Библиогр.: с. 103-128. Текст : непосредственный.
5. **Красная книга Российской Федерации (растения и грибы)** / Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, РАН, Российское ботаническое общество, МГУ им. М.В. Ломоносова; Гл. редколл. : Ю.П. Трутнев [и др.]; сост. Р.В. Камелин [и др.] - М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. - с. 338-339. - ISBN 978-5-87317-476-8. - Текст : непосредственный.
6. **Летопись природы.** Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, Государственный природный заповедник «Курильский» 1997 год. Раздел 5. Погода, раздел 7. Флора и растительность. Книга 13. - Южно-Курильск, 1998. - с. 42-86. - Текст : непосредственный.
7. **Летопись природы.** Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, Государственный природный заповедник «Курильский» 1998 год. Раздел 5. Погода, раздел 7. Флора и растительность. Книга 14. Том 1. - Южно-Курильск, 1999. - с. 86-122. - Текст : непосредственный.
8. **Летопись природы.** Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, Государственный природный заповедник «Курильский» 1999 год. Раздел 5. Погода, раздел 7. Флора и растительность. Книга 15. Часть 1. - Южно-Курильск, 2000. - с. 95-130. - Текст : непосредственный.
9. **Летопись природы.** Министерство природных ресурсов Российской Федерации, Государственный природный заповедник «Курильский» 2000 год. Раздел 5. Погода, раздел 7. Флора и растительность. Книга 16. - Южно-Курильск, 2001. - с. 135-173. - Текст : непосредственный.

- [illegible]

23. **Летопись природы.** Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, ФГБУ «Государственный природный заповедник «Курильский» 2021 год. Раздел 5. Погода, раздел 7. Флора и растительность. Книга 37. Часть 1. - Южно-Курильск, 2022. - с. 139-176. - Текст : непосредственный.
24. **Макаренко В.П.,** Мартыненко О.Н. Фенологические наблюдения за древесными растениями заповедника «Бастак» // Вестник ДВГСА. Естественнонаучные знания. 2010. 2(6): с. 83-96. - Ежекв. - ISSN 2227-1384. - Текст : непосредственный.
25. **Минин А. А.,** Ананин А. А., Буйолов Ю. А., [и др.] Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2020. 5 (4) : с. 89-110. - Ежекв. - ISSN 2500-008X. - Текст : непосредственный.

© *Линник Е.В., 2022*

Липпонен Ирина Николаевна,

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина ФБГУН Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»
184209, Россия, г. Апатиты Мурманской области, ул. Ферсмана 18 а; e-mail: i.lipponen@ksc.ru

Полоскова Елена Юрьевна,

кандидат биологических наук, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина ФБГУН Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»
184209, Россия, г. Апатиты Мурманской области, ул. Ферсмана 18 а; e-mail: e.poloskova@ksc.ru

ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗЫ БУТЕНИЗАЦИИ И ЦВЕТЕНИЯ У ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ РАСТЕНИЙ ЧЕРЕМУХА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

АННОТАЦИЯ. В настоящей работе представлены результаты исследования на основе многолетних фенологических наблюдений и метеорологических данных. Установлено, что сроки наступления фенологических фаз генеративного развития в условиях Крайнего Севера у интродуцентов вида *P. maackii* Rupr. в большей степени подвержены влиянию метеорологических факторов, чем у *P. padus* L. и *P. padus* L, f. *colorata* Almquist.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: черемуха, интродукция, фенология, температура, влажность, Кольский Север, *Prunus padus*.

Lipponen Irina Nikolaevna,

Polar Institute of the Kola Science Center; Apatity, Murmansk region, Russia

Poloskova Elena Yurievna,

degree in biological sciences, Polar Institute of the Kola Science Center; Apatity, Murmansk region, Russia

THE PHENOLOGICAL PHASES BUDDING AND FLOWERING IN INTRODUCED BIRD CHERRY PLANTS IN THE CONDITIONS OF THE FAR NORTH

ANNOTATION. This article presents the results of a study based on long-term phenological observations and metrological data. It has been established that the timing of the onset of phenological phases of generative development in the conditions of the Far North in the introducers of the species *P. maackii* Rupr. they are more affected by meteorological factors than *P. padus* L. and *P. padus* L, f. *colorata* Almquist.

KEYWORDS: *Prunus padus*, introduction, phenology, temperature, humidity, Kola North.

Введение

Интерес к изучению механизма влияния климатических факторов на живые организмы не теряет своей актуальности вот уже много лет, а в условиях глобального изменения климата привлекает еще большее внимание. Фенологические наблюдения помогают более точно оценить реакцию видов на внешние изменения, но механизм влияния изучен не до конца [1]. Вместе с этим открытым остается вопрос, как и какие именно климатические факторы влияют на различные виды. Настоящее исследование направлено на выявление связи наступления фенологических фаз генеративного развития от метеопараметров у интродуцируемых растений черемуха в условиях Крайнего Севера.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили два вида и одна форма черемухи – *Prunus padus* L., *Prunus maackii* Rupr., *Prunus padus* L. f. *colorata* Almquist. (табл. 1). Латинские названия приведены согласно электронному ресурсу World Flora Online [2]. Растения интродуцированы в условия Крайнего Севера и произрастают на особо охраняемой природной территории Полярно-альпийского ботанического сада-института (ООПТ ПАБСИ) расположенной в 120 км к северу от Полярного круга и на удалении 2.5 км от г. Апатиты Мурманской области (67°34' N; 33°18' E с высотой рельефа 155,5 м.) [3].

Таблица 1.

Характеристика исследуемых таксонов рода *Prunus* L.

Наименование, год введения в эксперимент	Происхождение
<i>Prunus padus</i> L. – Черемуха обыкновенная, 1981	ск, Мещерское Липецкая область
<i>Prunus maackii</i> Rupr. – Черемуха Маака, 1978	сд, Дальний Восток
<i>Prunus padus</i> L. f. <i>colorata</i> Almquist. – Черемуха обыкновенная ф. <i>Colorata</i> , 1992	ск, Торнио, Финляндия

ск / сд – семена культурного / природного происхождения

Климат района характеризуется прохладным и коротким летом, с годовым количеством осадков от 450 до 560 мм (наибольшие количество выпадает летом и осенью). Безморозный период составляет 50-70 дней (первые заморозки в воздухе возможны в августе, последние – в конце мая - июне). Устойчивый снежный покров 180-200 дней (высота 60-80см). Средняя температура зимой от -11 до -14°C, летом 11-14°C [4]. К особым климатическим факторам места произрастания интродуцентов можно отнести короткий вегетационный период 90-120 дней, продолжительность светового дня (полярный день/ночь) и смягчающий субарктическое расположение – близость течения Гольфстрим.

Материалом для данного исследования послужили данные фенологических наблюдений и метеорологических измерений за 2015-2020 гг. Средние значения метеопараметров рассчитывались на основе среднесуточных показателей по метеостанции, расположенной непосредственно на территории ООПТ ПАБСИ. Фенологические наблюдения за исследуемыми растениями проведены по методикам в Александровой М. С. и др. (1975) [5] и Булыгина Н. Е. (1976) [6].

Фенологические фазы и конкретные периоды характеризовались суммой активных температур (САТ) > 0°C, которые рассчитывались по сумме положительных температур от даты наступления фазы Пч2 – распускание вегетативных почек, для каждого образца.

Математическая обработка данных проводилась методами математической статистики и корреляционного анализа в программных средах Microsoft Office Excel и Statistica 10 [7, 8].

Результаты

Корреляционный анализ (коэффициент Спирмена) использовали для установления наличия и характера связи между сроками наступления фенологических фаз «бутионизация», «цветение» и их продолжительности от определенных метеорологических параметров.

Наступление фенологических фаз по-разному зависит от САТ, так в большей степени САТ положительно влияет на наступление фаз у *P. maackii*, однако на продолжительность цветения, которое в среднем составляет 5-8 дней, оказывает слабое влияние (табл. 2). У родственных таксонов *P. padus* и *P. padus* f. *colorata* наблюдается обратное – САТ вызывает удлинение периода цветения, который составляет 12-17 и 8-15 дней, соответственно, а при наступлении фенологических фаз растения на нее мало реагируют. Наиболее чувствительным к САТ, исходя из среднего значения абсолютных значений коэффициентов корреляции ($r = 0,645$), оказался вид *P. maackii*.

Таблица 2.

Коэффициенты корреляции наступления фенологических фаз растений черемуха со САТ
(достоверные коэффициенты выделены полужирным)

Наименование	Наступление фенологической фазы		Продолжительность цветения	Среднее абсолютных значений коэф. корреляции
	Бутонизация	Цветение		
<i>P. padus</i>	0,232	0,091	0,647	0,323
<i>P. maackii</i>	0,829	0,812	0,294	0,645
<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	0,143	0,290	0,559	0,331

В таблице 3 отображено влияние температуры на продолжительность фаз генеративного развития растений черемуха, и влияние температуры периода предшествующего наступлению фаз на сроки наступления фенологических фаз. Под продолжительностью фазы бутонизация принимался период между сроками наступления фаз ЦЗ – бутонизация и Ц4 – начало цветения.

Температура периода цветения (8,8-9,4°C) слабо влияет на продолжительность данной фенологической фазы у всех таксонов, а увеличение температуры в период бутонизации приводит к растягиванию продолжительности фазы бутонизации у *P. padus* f. *colorata*, но мало влияет на родственный *P. padus*. У *P. maackii*, напротив, под влиянием высоких температур продолжительность фазы бутонизации будет сокращаться. Наступление фаз генеративного развития (бутонизация и цветение) у растений черемухи слабо зависит от температуры предшествующего периода, за исключением вида *P. padus*, который отрицательно коррелирует температурой предшествующего периода. Вероятно, это обусловлено тем, что данный вид произрастает в естественном ареале распространения.

Таблица 3.

Коэффициенты корреляции наступления фенологических фаз растений черемуха и их продолжительность со средней температурой периодов

Наименование	Наступление фазы		Продолжительность		Среднее абсолютных значений коэф. корреляции
	Бутонизация	Цветение	Бутонизация	Цветение	
<i>P. padus</i>	-0,235	-0,750	0,149	-0,379	0,378
<i>P. maackii</i>	-0,377	-0,294	-0,819	-0,177	0,416
<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	0,029	-0,290	0,599	-0,294	0,303

Установлено, что относительная влажность не влияет на продолжительность фенологических фаз у *P. maackii* и *P. padus*, а у *P. padus* f. *colorata* прослеживается обратная и прямая корреляции между фазами бутонизация и цветения ($r = -0,347$ и $r = 0,441$, соответственно) (табл. 4). Вероятнее всего это обусловлено косвенным влиянием типа посадок и расположения растений относительно других растений в коллекции (*P. maackii* и *P. padus* произрастают в непосредственной близости в групповых посадках, посадки *P. padus* f. *colorata* имеют более разреженный тип). Более выраженная обратная корреляционная зависимость ($r = -0,819$) относительной влажности и наступления фазы бутонизации у *P. maackii* обусловлена тем, что *P. maackii* вступает в фазу бутонизации значительно позже *P. padus* и *P. padus* f. *colorata* (в среднем разница составляет 10 дней).

Период вегетации у всех растений начинается задолго до полного стаивания снежного покрова, невысокие весенние температуры обеспечивают длительный запас талых вод, однако, не смотря на это, к моменту наступления фазы цветения увеличение относительной влажности воздуха будет иметь положительное влияние. Предполагаем, что полученные слабые обратной корреляция у *P. padus* ($r = -0,203$) и прямой у *P. padus* f. *colorata* ($r = 0,314$),

могли быть получены по причине наличия косвенного влияния микроклимата сложившегося в популяции, который обусловлен особенностями посадок растений в коллекции.

Таблица 4.

Корреляции наступления фенологических фаз растений черемуха и их продолжительность со средней относительной влажностью периодов

Наименование	Наступление фазы		Продолжительность		Среднее абсолютных значений коэф. корреляции
	Бутонизация	Цветение	Бутонизация	Цветение	
<i>P. padus</i>	-0,203	0,698	-0,027	0,059	0,247
<i>P. maackii</i>	0,771	0,647	-0,002	-0,029	0,362
<i>P. padus</i> <i>f. colorata</i>	0,314	0,406	-0,347	0,441	0,377

Заключение

Анализ данных показывает, что сроки наступления фенологических фаз генеративного развития у *P. maackii* в большей степени подвержены влиянию климатических условий, чем у *P. padus* и *P. padus f. colorata*. *P. maackii* демонстрирует наибольшую чувствительность к САТ и относительной влажности.

Дополнительно стоит отметить, что корреляционный анализ так же выявил, что наступление фенологической фазы цветение у вида *P. maackii* достоверно коррелирует с относительной влажностью периода предшествующего фазе бутонизации (период между сроками наступления фаз Пч2 и Ц3) и суммой активных температур того же периода. Коэффициент корреляции в обоих случаях составляет 0,812.

Наступление фенологических фаз генеративного развития у родственных таксонов *P. padus* и *P. padus f. colorata* в меньшей степени зависят от САТ. Однако, несмотря на то, что САТ прямо коррелирует с продолжительностью цветения для обоих таксонов средняя температура периода цветения демонстрирует обратную слабую корреляцию. Анализ корреляционных коэффициентов средней температуры и относительной влажности поставил вопрос о косвенном влиянии на растения особенностей посадок. В продолжение данного исследования планируются сравнить данные таксоны с аналогичными таксонами, произрастающими на второй площадке ПАБСИ в г. Кировске (67°38' N; 33° 40' E с высотой рельефа 325,5 м).

Работа выполнена в рамках темы НИР FMER-2021-0004 «Комплексный анализ методик оценки декоративности и их применения к древесным растениям Крайнего Севера (на примере коллекции интродуцированных древесных растений ПАБСИ КНЦ РАН)» (рег. номер 1021071612833-7-1.6.11) и использованием уникальной научной установки «Коллекции живых растений ПАБСИ» (рег. номер 499394).

Список литературы

1. Wadgyamar, S. M. Phenological responses to multiple environmental drivers under climate change: insights from a long-term observational study and a manipulative field experiment. / S. M., Wadgyamar, J. E. Ogilvie, D. W. Inouye, A. E. Weis, J. T Anderson. New Phytologist. 2018; 218(2):517-529.
2. World Flora Online // URL: <http://www.worldfloraonline.org/> (дата обращения 04.0.2022).
3. Демин, В. И. Особенности распределения температуры воздуха в городе Апатиты и его пригородах / В. И. Демин, Б. В. Козелов, Ю. А. Горбань [и др.] // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2019. – № 16. – С. 141-145.
4. Семко, А. П. Гидротермический режим почв лесной зоны Кольского полуострова. / Апатиты: КФ АН СССР, 1982. 142 с.

5. Александрова, М. С. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / М. С. Александрова, Н.Е. Булыгин, В. Н. Ворошилов и др. / М.: Наука, 1975. 28 с.
6. Булыгин, Н. Е. Фенологические наблюдения над листовыми древесными растениями. Пособие по проведению учебно-научных исследований. / Н. Е. Булыгин. / Л.: Изд-во ЛТА, 1976. 70 с.
7. Ивантер, Э. В. Коросов А.В. Введение в количественную биологию: учеб. пособие. / Э. В. Ивантер, А.В. Коросов / Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 304 с.
8. Коросов, А. В. Компьютерная обработка биологических данных: метод. пособие. / А. В. Коросов, В. В. Горбач. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 84 с.

© Липтонен И.Н., Полоскова Е.Ю., 2022

Маковозова Залина Элгуджаевна

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 362042, Владикавказ, Иристонская, 44а, кв.2, e-mail:geologistik@bk.ru

Мосягина Елена Михайловна

Преподаватель, Северо-Кавказский строительный техникум, 362020, Владикавказ, Тургеневская, 306, e-mail:elena.mosiagina@yandex.ru

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РОСТА УРБАНИЗАЦИИ И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ**

АННОТАЦИЯ. Современные темпы индустриализации и вызванный ими парниковый эффект, изменения климата, пандемии - сложное настоящее, которое обещает непростое будущее подрастающему поколению. Именно в такое время должны рождаться свежие идеи правильного сосуществования человека и природных геосистем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Урбанизация, парниковый эффект, биосфера, инфраструктура, зеленая архитектура

Makovozova Zalina Elgudzhayevna

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

Mosyagina Elena Mikhailovna

Lecturer, North Caucasus Construction College, Vladikavkaz, Russia

**SOME ISSUES OF URBANIZATION GROWTH AND ITS IMPACT ON NATURAL AND
MAN-MADE SYSTEMS**

ANNOTATION. The current pace of industrialization and the greenhouse effect caused by them, climate change, pandemics are a complex present that promises a difficult future for the younger generation. It is at such a time that fresh ideas of the correct coexistence of man and natural geosystems should be born.

KEYWORDS. Urbanization, greenhouse effect, biosphere, infrastructure, green architecture

Как связаны между собой геоэкология и сфера жизнедеятельности человека? По определению Н.Ф. Реймерса (1990) «Геоэкология — раздел экологии, исследующий экосистемы (геосистемы) высоких иерархических уровней — до биосферы включительно». В.И. Осипов определяет геоэкологию «как междисциплинарную науку об экологических проблемах геосфер Земли. Объектами ее исследования являются все геосферы (оболочки) Земли: атмосфера, гидросфера, литосфера, биосфера. По уровню структурной организации она рассматривается как наука, образующая вместе с экологией, геологией и географией взаимосвязанный триумвират наук о Земле» (1993).

Более кратко геоэкология может быть определена как наука об изменениях геосфер под влиянием экологических факторов, включая антропогенные. Исходя из специфики городской среды и строительной деятельности человека, выделяется среди ресурсной функции роль минеральных ресурсов как сырья для строительной индустрии, а также запасов поверхностных и подземных вод, используемых для жилищно-коммунального комплекса. Геодинамическая составляющая экологической функции литосферы определяет влияние ее изменений (вследствие природных и антропогенных геологических процессов и явлений) на условия жизнеобитания и дискомфортность проживания человечества [4].

Влияние геофизических и геохимических полей литосферы природного и

техногенного происхождения, а также их аномалий на состояние здоровья человека определяет геофизико-геохимическую, или медико-санитарную, составляющую экологической функции [3].

Современный рост городов в условиях многих неблагоприятных факторов различного происхождения ставит важную задачу перед человечеством - создавать не только города с набором необходимых функций, города-посеки, а города-натуралии, сбалансированные города.

При создании новых или видоизменении существующих функциональность городских построек должна иметь природно-рациональный смысл с обязательным экологическим акцентом. С конца XX века такой стиль архитектуры получил название «зеленой архитектуры», «экоархитектуры», «инновационной архитектуры».

Города-функционалы, востребованные с середины 60-ых годов прошлого века, лишь в первые сроки своего существования имели положительный прогноз и рентабельность. Что касается долгосрочного прогноза, то такие проекты были предназначены для решения проблемы с расселением работоспособного населения и обеспечения необходимой (подчеркну необходимой) инфраструктурой.

Существует ряд важных принципов, которые должны соблюдаться при возведении объектов зеленой архитектуры современных городов:

1. Принцип сохранения энергии – сведение к минимуму необходимости расходовать тепловую энергию на обогрев или охлаждение.

2. Принцип сокращения объемов нового строительства предполагает использование в новых постройках старые здания или материалы от них. Подобный принцип действовал на протяжении веков, особенно в период Средневековья, когда здания строили на века. Однако в середине 20-го века застройщики начали просто все сносить и строить на пустом месте, поскольку так было намного проще.

3. Принцип сотрудничества с солнцем предлагает использование в здании солнечных батарей как способ накопления энергии для отопления. К тому же в зданиях, построенных в стиле зеленой архитектуры, практически все окна выходят на юг.

4. Принцип уважения к обитателям – здание становится не просто местом для проживания, а владением, в котором каждый обитатель дома должен играть огромную роль в поддержании порядка.

5. Принцип уважения к месту предусматривает взгляд восточной философии на природу – единение и слияние человека и его природного окружения. Природа должна перестать быть только ресурсом, используемым на благо человечества.

6. Принцип целостности выражает идеал эко-архитектуры. Он предусматривает подход к задаче строительства таким образом, чтобы можно было задействовать все вышеперечисленные принципы [1].

Как и природные геосистемы, каждая природно-техногенная городская система имеет ряд задач, невыполнение которых влечет сбой в гармоничном функционировании самой системы вплоть до полной потери взаимосвязей всех ее компонентов.

Методика исследования природно-техногенной системы основана на установлении фоновых концентраций загрязняющих веществ в природных и техногенных компонентах окружающей среды, предполагает комплексное исследование основных источников загрязнения (предприятий, полигонов ТБО, автотранспорта и т.д.), их ранжирование по способу загрязнения, а также определение современного экологического состояния компонентов окружающей среды, находящихся под воздействием этих источников с помощью геоэкологической оценки [2].

Широко освещены в литературе современные природно-техногенные проблемы крупных городов, при застройке которых не учитывались геологические, геофизические, экологические и целый ряд факторов, несоблюдение правил которых привело к ухудшению состояния инженерных сооружений и коммуникаций, и следовательно качество жизни населения.

Автору представляется обязательным разработка и внедрение следующих пунктов для гармоничного функционирования геоурбосистем уже функционирующих и проектируемых:

1. Обязательное наблюдение за литосферой городов как геологической среды в свете строительной геоэкологии
2. Мониторинг устойчивости урбанизированных зон разной площади к воздействиям природно-техногенного характера
3. Разработка мер инженерной защиты урботерриторий в случае усиления природно-техногенных процессов, вызванных деятельностью человека

Список литературы

1. :Зеленая архитектура:особенности, примеры, объекты // <https://fb.ru/article/447425/zelenaya-arhitektura-osobennosti-primeryi-i-obyektyi>
2. Семячков, А.И. Металлы в окружающей среде горно-металлургических комплексов Урала : науч. изд. / А.И. Семячков ; Урал. гос. горногеол. акад. – Екатеринбург : [б. и.], 2001. – 320 с.
3. Федоров М.П, Уманец В.Н. Анализ геоэкологических проблем при строительстве городов (на примере Санкт-Петербурга) // Научно-технические ведомости СПбГУ. Естественные и инженерные науки. 2010. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-geoekologicheskikh-problem-pri-stroitelstve-gorodov-na-primere-sankt-peterburga/>
4. Z.Makovozova., I.Goudieva. Some features of the «green» industrial revolution // 14th International Conference «SCIENCE AND PRACTICE: A NEW LEVEL OF INTEGRATION IN THE MODERN WORLD» April, 25, 2022, Sheffield, UK. P.48-56

© Маковозова З.Э., Мосягина Е.М., 2022

Маликов Дмитрий Геннадьевич,

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН; 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3; dgmalikov@igm.nsc.ru

Голованов Семён Евгеньевич

инженер, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН; 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3; магистрант, Новосибирский государственный университет; 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1; golovanovse@igm.nsc.ru

ЛАНДШАФТЫ ПРЕДАЛТАЙСКОЙ РАВНИНЫ В КАРГИНСКОЕ ВРЕМЯ (MIS 3, ПОЗДНИЙ ПЛЕЙСТОЦЕН) ПО ДАННЫМ О ФАУНЕ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

АННОТАЦИЯ. Данные по микротериофауне позднего плейстоцена Предалтайской равнины позволяют провести палеоландшафтные реконструкции. Остатки мелких млекопитающих из отложений каргинского регионального горизонта (MIS 3) были изучены. В центральных частях Предалтайской равнины (Приобское лёссовое плато и Предалтайские увалы) остатки степных животных суслика, хомяков, полёвок, цокоров, широко встречаются. Все эти виды относятся к обитателям открытых биоценозов степного либо тундростепного типа. В предгорных и низкогорных районах большую долю остатков составляют лесные виды мелких млекопитающих – лесные и водяные полёвки. Фаунистические данные указывают на широкое развитие ландшафтов степного типа на большей части Предалтайской равнине в каргинское время. Только в предгорных районах Алтая и Салаира шло развитие лесных биоценозов. Аналогичная картина наблюдается в регионе и в настоящее время.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мелкие млекопитающие, ландшафты позднего плейстоцена, Западная Сибирь, палеоэкологические реконструкции

Malikov Dmitriy Gennadevich

Candidate of Geology, Senior Researcher, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS; Novosibirsk, Russia

Golovanov Semion Evgenevich

Engineer, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS; Novosibirsk, Russia; undergraduate, Novosibirsk State University; Novosibirsk, Russia

THE PREDALTAI LANDSCAPES BASED ON SMALL MAMMALS FAUNA DATA IN KARGA TIME (MIS3, LATE PLEISTOCENE)

ANNOTATION. Data on small mammal's remains can be a good basis for paleolandscape reconstruction. We use it for late Pleistocene of Predaltai plain from Karga time (MIS 3). In the central parts of the Predaltai plain, the steppe animals remains are widespread. In foothill and low-mountain areas, a large portion of the remains are forest type small mammals. Faunal data shows the widespread development of steppe-type landscapes in most of the Predaltai plain in the MIS 3. Only in the foothill regions of Altai and Salair have been present a large forest biotopes. Similar picture is observed in the region in present.

KEYWORDS: small mammals fauna, Late Pleistocene landscapes, Western Siberia, paleoecology reconstruction

Устойчивость биосферы и роль климата, как одного из ведущих факторов, определяющих ее состояние, являются одними из наиболее остро стоящих вопросов перед современным человечеством. При оценке и прогнозирование возможного ущерба от

климатических изменений, как правило, используются пространственные или временные климатические аналоги (Grenier et al., 2019). Одним из наиболее эффективных способов прогнозирования возможных изменений климата и ландшафтов является методы палеоландшафтных и палеоклиматических реконструкций, на основе совокупности различных геологических данных.

Наиболее обоснованными и достоверными являются реконструкции палеоландшафтов плейстоцена. Актуальные и детальные реконструкции палеоландшафтных зон для позднего плейстоцена территории Западной Сибири были проведены на основании данных палеопедологии [1]. Данные по фауне мелких млекопитающих позволяют проводить не менее детальные реконструкции ландшафтов благодаря их строгой приуроченности к определённым типам ландшафтов.

Каргинское время соответствующее 3 морской изотопной стадии кислородной кривой (MIS 3) – один из интереснейших и важнейших этапов позднего плейстоцена. Именно в это время человек современного антропологического типа достоверно проникает в Северную Евразию. В конце этого временного этапа вымирают многие виды хищников и травоядных Сибири. Поэтому изучение экосистем формировавшихся в MIS 3 в различных регионах является актуальным.

В этой работе были реконструированы ландшафты каргинского времени позднего плейстоцена Предалтайской равнины на основе данных по мелким млекопитающим. В качестве основы работы использованы опубликованные материалы [2, 3, 4] и фаунистические материалы собранные авторами. Новые материалы получены из разрезов:

Солоновка, разрез связан с отложениями юго-восточного склона Ануйского увала в береговом обрыве левого склона долины р. Песчаной, в 1,5 км ниже пос. Солоновка [5]. Из отложений искитимского педокомплекса (далее Is PC) получены остатки *Spermophilus* sp.

Белово, разрез Белово расположен между селами Белово и Володарка на участке Приобского лессового плато, вскрытого левым берегом р. Обь [1]. Новые материалы получены из нор связанных с отложениями Is PC представлены остатками *Spermophilus* sp. Ранее из нор Is PC были известны остатки *Spermophilus* sp., *Lagurus lagurus*, *Microtus gregalis* и *Myospalax* cf. *myospalax* [1].

Новосуртаевка, разрез расположен на правом берегу р. Иша (правый приток р. Катунь). В этом разрезе ранее было описано только одно местонахождение фауны [2, 3]. Нами выделено два местонахождения ископаемой фауны из разных слоёв [6]: Новосуртаевка-1 (русловой аллювий) и Новосуртаевка-2 (пойменный аллювий). Возраст местонахождения Новосуртаевка-1 определяется 14C-датировкой по древесине [3] около 40,5 тыс. л.н. Возраст местонахождения Новосуртаевка 2 оценивается 14C-датировкой остатков *Lepus* sp. около 30,3 тыс. л.н. В местонахождении Новосуртаевка-1 были определены: *Crociodura* sp., *Ochotona* sp., *Lepus* sp., *Spermophilus undulatus*, *Myospalax myospalax*, *Clethrionomys rufocanus*, *C. rutilus*, *Microtus gregalis*, *M. oeconomus*, *Lagurus lagurus*, *Mammuthus primigenius*, *Bison priscus* и *Cervus elaphus*. В пойменном аллювии местонахождения Новосуртаевка-2 были определены: *Lepus* sp., *Microtus* sp., *M. gregalis* и *M. oeconomus*.

В аллювиальных отложениях I и II террас правых притоков р. Обь (пр. Тальменка, Чумыш, Большая речка и др.) также известны находки мелких и крупных млекопитающих [3, 4]. В основном это виды открытых биотопов: *Lepus* sp., *Ochotona* sp., *Citellus* sp., *Allactaga major*, *E. luteus*, *L. lagurus*, *M. gregalis* и *Myospalax myospalax*. Так же большую долю остатков занимают виды лесных и пойменных местообитаний: *Arvicola terrestris*, *M. oeconomus*, *M. arvalis*, *C. rufocanus* и *C. rutilus*.

Полученные палеонтологические материалы позволяют уточнить ранее имевшиеся палеоландшафтные реконструкции Предалтайской равнины. Все мелкие млекопитающие с территории Приобского лессового плато обитатели открытых ландшафтов полупустынного, степного типов. Среди палеонтологического материала центральной части Предалтайской равнины наиболее массово представлены остатки сусликов.

В Предгорных районах степные виды также являются доминантными. Однако здесь

присутствует большая доля остатков лесных полёвок (*C. rufocanus*, *C. rutilus*). Скорее всего это обусловлено развитием пойменных лесов в степной зоне и близостью к горному региону. Данные по малакофауне и растительности подтверждают развитие еловых лесов и пойменной растительности в окрестных территориях [2, 3].

Изучение микротериофауны позволяет реконструировать ландшафты для территории Предалтайской равнины в каргинское время позднего плейстоцена. В каргинское время на этой территории были широко развиты открытые ландшафты степного типа. В предгорных районах Алтая и Салаира шло развитие лесных биоценозов. Развитие лесной растительности в предгорных районах может быть связано с большим увлажнением территории за счёт удара воздушных масс о горы и их пролития в виде дождя. Левобережье р. Обь испытывало дефицит увлажнения, в результате чего развитие получали преимущественно степные биоценозы. Аналогичная картина наблюдается в регионе и в настоящее время [7]. Таким образом, региональная ландшафтная структура в большой степени обусловлена региональным макрорельефом, и хоть и с вариациями, но остаётся стабильной на протяжении длительного времени. Это позволяет предполагать необходимость серьёзных климатических изменений, для кардинальной перестройки ландшафтов в этом регионе. В то же время, возможны локальные вариации ландшафтов в пределах лесостепной зоны к которой относится регион.

Исследование выполнено в рамках гранта Президента РФ МК-74.2021.1.5.

Список литературы

1. Зыкина, В. С. Лессово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене: монография / В. С. Зыкина, В. С. Зыкин. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. – 477 с.
2. Адаменко, О. М. Мезозой и кайнозой степного Алтая: монография. – Новосибирск: «Наука», 1974. – 167 с.
3. Паньчев, В. А. Радиоуглеродная хронология аллювиальных отложений Предалтайской равнины: монография. – Новосибирск: «Наука», 1979. – 102 с.
4. Зажигин, В. С. Грызуны позднего плиоцена и антропогена юга Западной Сибири: монография. – Труды ГИН, вып. 339. – М.: «Наука», 1980. – 156 с.
5. Зыкин, В. С. Новые данные по стратиграфии четвертичных отложений предгорий Горного Алтая (долина р. Песчаная) / В. С. Зыкин, В. С. Зыкина, Л. Г. Смолянинова, Н. А. Рудая, И. В. Форонова, Д. Г. Маликов // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2017. – № 3. – С. 3–16.
6. Голованов, С. Е. Сообщество мелких млекопитающих позднего плейстоцена из разреза Новосуртаевка на юго-востоке Западной Сибири / С. Е. Голованов, Д. Г. Маликов // Палеонтология и стратиграфия: современное состояние и пути развития. Материалы LXVIII сессии Палеонтологического общества при РАН, посвященной 100-летию со дня рождения Александра Ивановича Жамойды. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2022. С. 206–207.
7. Гайда, В. В. Картографический анализ изменения растительного компонента ландшафтов Алтайского края за 100 лет / В. В. Гайда, И. Н. Ротанова // Географические исследования молодых ученых в регионах Азии. материалы Всероссийской молодежной конференции с международным участием. Министерство образования и науки РФ, Алтайский государственный университет, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Алтайское региональное отделение Русского географического общества. 2016. С. 94–98.

© Маликов Д.Г., Голованов С.Е., 2022

Михайлов Владимир Валентинович

доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, 199178, Санкт-Петербург, 14 линия, д. 39.

E-mail: mwwcari@gmail.com

**АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ
ОБИТАНИЯ ДИКИХ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ ТАЙМЫРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ**

АННОТАЦИЯ. Представлен анализ взаимосвязи и характер изменения факторов климата районов Таймыра и Севера Эвенкии в летне-осенний период на интервале с 1970 по 2020 гг. Показано, что средняя температура воздуха в июне-сентябре на указанном интервале возросла на 1.8°C. Это привело к увеличению суммы положительных температур на мысе Челюскина почти в 3 раза относительно данных 1970-х годов, на мысе Стерлигова – в 2 раза, для более южных районов сумма возросла на 20-30%. Для «средних» и наиболее контрастных по температурным показателям лет построены биоклиматические поля ареала северных оленей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метеофакторы; корреляция, кластерная структура связей, восстановление данных, модель, биоклиматические поля.

Vladimir Valentinovich Mikhailov

Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

**ANALYSIS AND GENERALIZATION OF METEOROLOGICAL DATA IN THE HABITAT
OF WILD REINDEER OF TAIMYR POPULATION**

ABSTRACT. The analysis of interrelation and character of climate factors changes in the regions of Taimyr and the North of Evenkia during summer-autumn period in the interval from 1970 to 2020 is presented. It is shown that the average air temperature in June-September in the specified interval increased by 1.8°C. This led to an increase in the sum of positive temperatures at Cape Chelyuskin almost 3 times relative to the data of the 1970s, at Cape Sterligov - 2 times, for the more southern regions the sum increased by 20-30%. Bioclimatic fields of reindeer habitat were constructed for "average" and the most contrasting years by temperature indices.

KEY WORDS: meteorological factors; correlation, cluster relationship structure, data recovery, model, bioclimatic fields.

Введение

В работе исследуется динамика климатических факторов в сезоны с положительной температурой воздуха на интервале с 1970 до 2020 г, оцениваются корреляционные связи, выполняется восстановление пропущенных данных, отбираются наиболее значимые годы для проведения биоклиматических расчетов. Данные исследования существенно дополняют результаты климатического анализа территорий Севера Средней и Западной Сибири [5], относящихся, главным образом, к южной части ареала северных оленей (зона лесотундры и северной тайги).

Во второй части выполняются расчеты на модели и строятся биоклиматические поля ареала таймырской популяции диких северных оленей для июля – наиболее теплого месяца на Севере Средней Сибири. Воздействие климатических факторов на животных могут быть прямыми и косвенными. Прямые воздействия могут вызвать перегрев, переохлаждение, обезвоживание организма и другие. Косвенные – это опосредованные воздействия климата через изменения кормовой базы, плотности популяций mosquitos, развитием инфекционных

заболеваний и изменение других показателей среды обитания. Мы считаем, что проблемы биоклимата касаются именно прямого воздействия погодно-климатических факторов на животных или на другие компоненты экосистем. Опосредованные воздействия выходят за рамки чисто климатических. Это взаимодействия типа хищник-жертва, паразит-хозяин или другие и в рамках этих взаимодействий может учитываться косвенное воздействие факторов климата. Построения биоклиматических полей ареала северных оленей выполнено с использованием модели теплового баланса животного [5, 6].

Анализ и восстановление метеоданных

В работе использованы данные метеостанций (ГМС) на территории Таймыра и Севера Эвенкии (табл. 1) на интервале с 1970 по 2020 гг. в сезоны с положительными температурами воздуха (июнь-октябрь). Состав метеофакторов: температура воздуха, скорость ветра, осадки, общая облачность, влажность воздуха, прямая и рассеянная солнечная радиация. Осреднение данных – среднемесячное. Наиболее детально исследовались данные о температуре воздуха – главного фактора, определяющего степень благополучия и устойчивости полярных экосистем.

По данным ГМС были построены графики изменения среднемесячных температур воздуха на интервале с 1970 до 2020 г., а также графики сумм положительных температур. По графикам определены линейные и квадратичные тренды изменения переменных. Результирующие данные о росте температур на интервале по линейному тренду и размахе межгодовых отклонений от тренда представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Рост температур по линейному тренду и размах отклонений.

Метеостанция	Июнь °C	Июль °C	Август °C	Сентябрь °C	Размах отклонений ± °C	Сумма положительных температур, °C	Рост суммы в %
Мыс Челюскина		0.23	2.15		2.5	40+70	175
Мыс Стерлигова		2.05	3.25	2.7	3.5	140+160	114
Диксон	3.85	2.95	2.8		3	230+280	78
Дудинка		1.9			4		
Игарка	4.3	1.1	0.45	2.4	4	1140+240	21
Агата	2.2	0.16	0.95	1	2.5	1940+265	15
Туруханск	3.7	1.2	0.52	1.4	3	1280+310	24
Тура	3.9	1.1	0.85	0.85	3.5	1420+285	20
Оз. Таймыр		0.6			4		
Усть-Тарей		1.85			4		
Кресты		1.45			3		
Волочанка		1.3			4		
Хатанга	6	0.5	0.9	2.15	4	770+285	36
Эссей		0.38			5		
Оленек	4.7	0.18	0.8	1	4.5	1060+270	25
Жалинда	4.3	0.85	1.7	2	3.5	950+265	27

*Полужирным шрифтом выделены названия постоянно действующих метеостанций

Как видно из таблицы, наибольший рост среднемесячной температуры воздуха за 50 лет на континентальных станциях произошел в июне (около 4°C), в июле и августе рост снизился, соответственно до 1.2 и 0.8°C. В сентябре несколько вырос – до 1.4°C. На береговых станциях Карского моря прирост температуры в июле-августе составил в среднем, 2.7°C. На мысе Челюскин температура в июле существенно не изменилась (прирост 0.23°C), в августе возросла на 2.15°C.

Размах отклонений среднемесячной температуры от тренда составляет в среднем по станциям ±4°C.

Сумма положительных температур на мысе Челюскин за счет роста температуры в августе увеличилась почти в 3 раза, в связи с начально низкой суммой. Для мыса Стерлигова сумма температур возросла примерно в 2 раза по той же причине. Для всех остальных станций (включая Диксон) рост суммы примерно одинаков и составляет $275 \pm 35^\circ\text{C}$ (около 24% от начальной суммы).

В качестве примера на рис. 1-2 приведены графики среднемесячных температур воздуха для метеостанций Диксон и Хатанга. Наибольший рост температуры на станциях по линейному тренду происходил в июне. На Диксоне температура увеличилась на 4°C , в Хатанге – почти на 6°C . средне-июльская температура в Хатанге за 50 лет возросла лишь на 0.5°C , на Диксоне - почти на 3°C .

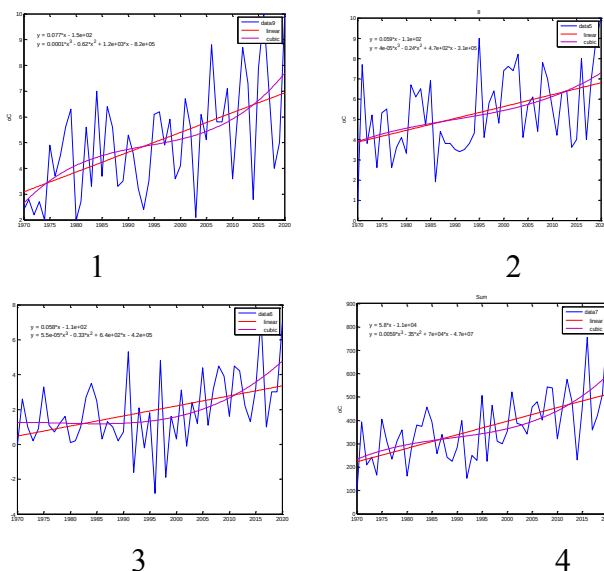


Рис. 1. Диксон, межгодовая динамика средне-июльской температуры воздуха. 1 – июнь, 2 – июль, 3 – август, 4 – сумма положительных температур.

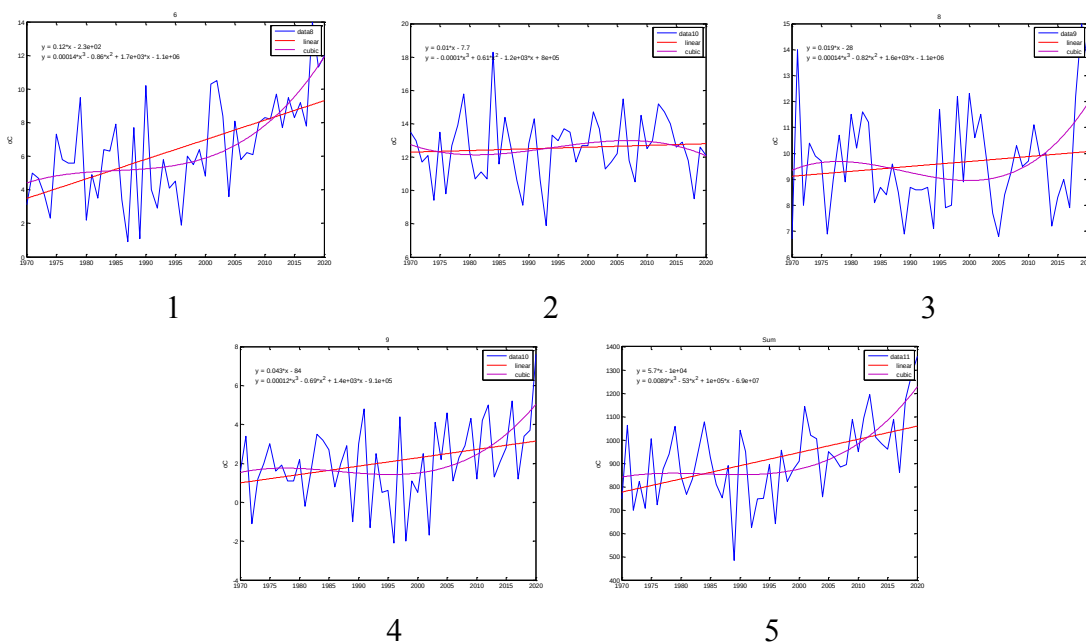


Рис. 2. Хатанга, межгодовая динамика средне-июльской температуры воздуха. 1 - июнь, 2 – июль, 3 – август, 4 – сентябрь, 5 – сумма положительных температур.

Как видно из графиков, рост температур по квадратичному тренду ускорился с 2005-х после ее относительной стабилизации в 1980-2000 годы. Исследования показали, что эта

тенденция характерна для хода температур по данным большинства станций, представленных в табл.1.

Следующий этап обработки метеоданных состоял в определении корреляционных связей между рядами средне-июльской температуры воздуха для всех постоянно действующих станций (табл. 1). Расчеты корреляционных коэффициентов были проведены для интервала времени с 1970 по 2016 гг. и для отдельных его промежутков. Первый условно соответствует низкому уровню потепления (1970-1987), второй (1988-2002) - среднему уровню, третий (2003-2016) – высокому. Связи с коэффициентами корреляции менее 0.6 не учитывались. По результатам расчетов метеостанции сгруппированы в кластеры. Кластер содержит станции, между которыми имеется полный набор связей (каждая станция связана с каждой).

Таблица 2.

Кластеризация ГМС по корреляционным связям.

Интервал счета	Кластеры
Северная группа станций	
1970-1987	(Стерлигов-Диксон-Дудинка-Хатанга), (Челюскин-Хатанга)
1988-2003	(Стерлигов-Диксон-Хатанга), (Челюскин), (Дудинка)
2004-2016	(Стерлигов-Хатанга), (Стерлигов-Диксон), (Диксон-Дудинка), (Челюскин)
1970-2016	(Стерлигов-Диксон-Дудинка-Хатанга), (Челюскин)
Южная группа станций	
1970-1987	(Игарка-Агата-Туруханск-Тура), (Тура- Оленек-Жалинда), (Игарка-Жалинда)
1988-2003	(Игарка-Агата-Туруханск-Тура), (Тура- Оленек-Жалинда)
2004-2016	(Игарка-Агата-Туруханск), (Тура- Оленек-Жалинда), (Игарка-Тура)
1970-2016	(Игарка-Агата-Туруханск), (Тура- Оленек-Жалинда), (Игарка-Тура), (Туруханск-Тура)
Межгрупповые связи	
1970-2016	(Диксон-Хатанга-Дудинка-Агата), (Хатанга-Оленек-Жалинда), (Дудинка-Игарка-Туруханск)

Результаты кластеризации представлены в табл. 2. Как видно из таблицы, потепление климата приводит к снижению температурной стабильности системы. Уменьшаются размеры кластеров, появляются двухкомпонентные кластеры и изолированные метеостанции. Однако значение корреляционных коэффициентов и соответствующая кластерная структура связей, определенная по длинным рядам данных (1970-2016 гг.) почти не изменилась по сравнению с результатами, полученными по данным 1979-1987 гг.

В 1990-х годах ГМС Усть-Тарей, озеро Таймыр, Кресты на Пясине, Эссей прекратили свою работу. Поскольку данные с этих станций являются чрезвычайно существенными для построения биоклиматических полей, нами была предпринята попытка восстановления рядов средне-июльских температур с использованием регрессионных моделей. Отбор аргументов моделей выполнялся с учетом значений коэффициентов корреляции между рядами температур моделируемых и постоянно работающих станций. Коэффициенты рассчитывались по данным 1970-1987 г., когда работала вся сеть ГМС . Если коэффициент корреляции превосходил 0.6, то станция включалась в состав станций-аргументов, в противном случае отбрасывалась. Ряды данных 1970-1987 гг. от станций-аргументов использовались для настройки моделей, ряды с 1988 по 2020 г – для прогнозных расчетов. Ниже, для каждой из моделей представлен список аргументов, в скобках указаны соответствующие значения корреляционных коэффициентов:

Эссей: Хатанга (0.81), Оленек (0.6), Тура (0.62), Жалинда (0.71)

Тарей: Стерлигов (0.8), Диксон (0.74), Хатанга (0.78), Дудинка (0.82), Агата (0.66), Игарка (0.72)

Кресты: Стерлигов (0.8), Диксон (0.72), Хатанга (0.82), Дудинка (0.92), Агата (0.84), Игарка (0.91), Туруханск (0.69), Тура (0.73)

Оз. Таймыр: Челюскин (0.62), Стерлигов (0.7), Диксон (0.61), Хатанга (0.87), Дудинка (0.67), Игарка (0.62)

Как было показано ранее, корреляционные коэффициенты для постоянно действующих ГМС, рассчитанные по данным 1970-1987 гг. и по данным 1970-2016 гг. оказались достаточно близкими. Это дает возможность предположить, что кластерная структура корреляционных связей между постоянно действующими и закрытыми станциями также существенно не изменилась и регрессионные зависимости, построенные по коротким рядам данных, могут быть применены для прогнозных расчетов. Дополнительная проверка была сделана для ГМС метеостанции Волочанка. Для этой станции была построена регрессионная модель и проведено сравнение прогнозируемых и фактических значений температуры на интервале с 2008 до 2020 г. (рис. 3). Среднеквадратическая ошибка отклонения расчетных данных от фактически составила 9.2%. Средняя величина температуры на интервале по расчетным данным равна 13.6°C, по фактическим данным 13.5°C.

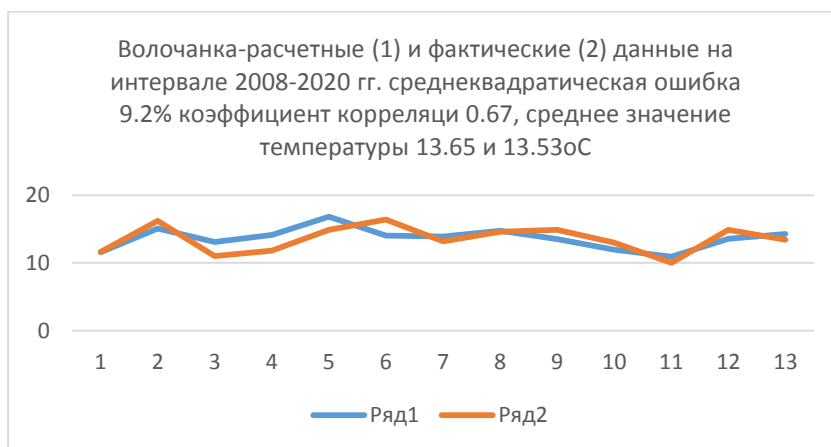


Рис. 3. Расчетные (1) и фактические (2) данные метеостанции Волочанка о средне-июльской температуре воздуха на интервале с 2008 до 2020 г.

На рис. 4 показаны восстановленные данные о ходе средне-июльской температуры с 1970 по 2020 гг. для континентальных станций на Таймыре, а также линейные и квадратичные тренды изменения температуры.

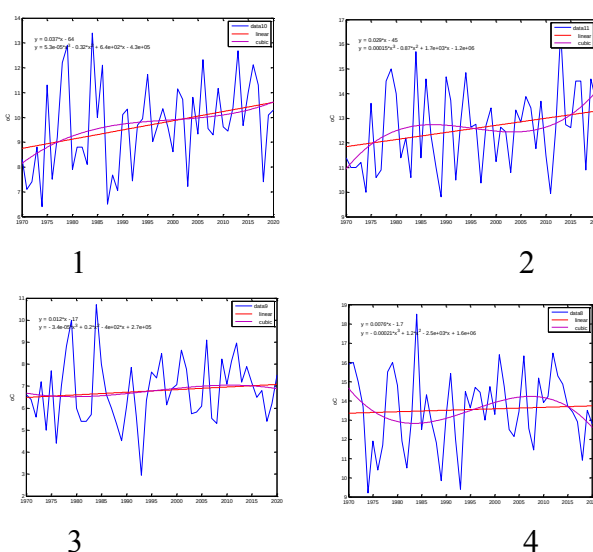


Рис. 4. Средне-июльская температура воздуха, линейный и квадратичный тренды ее изменения для метеостанций Усть-Тарей (1), Кресты на Пясине (2), Таймырское озеро (3), Эссей (4).

Динамика усредненных региональных значений метеофакторов

Для определения обобщенных региональных характеристик изменения метеофакторов на 50-летнем интервале были построены и проанализированы графики изменения средних сумм значений факторов от ГМС (табл. 1).

На рисунке 5 показана межгодовая динамика средних по региону значений температуры воздуха, скорости ветра, осадками, влажностью воздуха и облачностью. Как видно из графиков, по линейному тренду в июле на интервале с 1970 по 2020 произошел рост температуры воздуха на 0.8°C (на 7.2% относительно начальной температуры), скорость ветра снизилась на 0.5 м/с (11.8%), количество осадков снизилось на 6 мм (10%), влажность воздуха снизилась на 5.5% (на 6.8% от начального значения), облачность изменилась незначительно (1.3%).

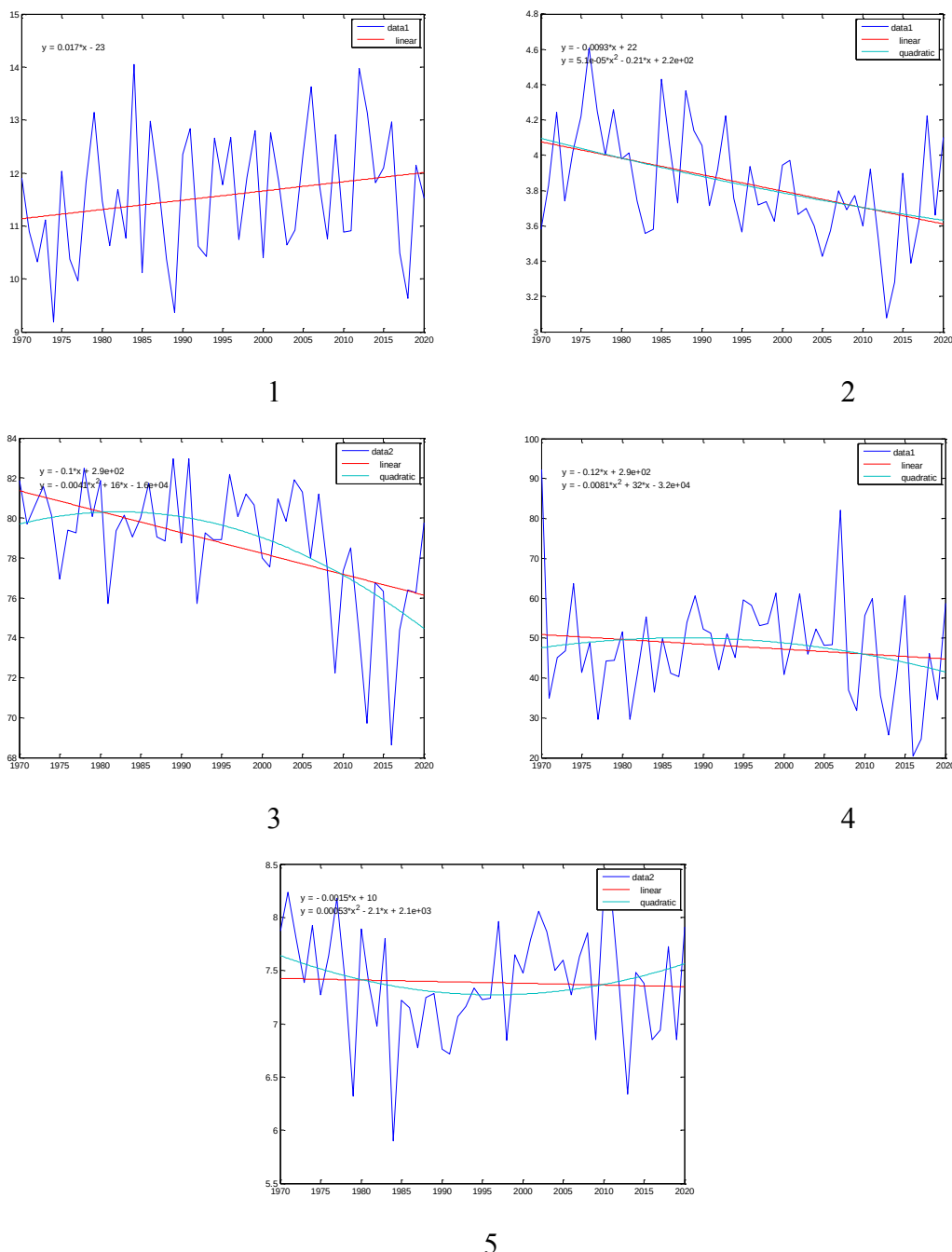


Рис. 5. Средние по региону значения климатических факторов в июле на интервале с 1970 по 2020 гг. 1 – температура воздуха, 2 – скорость ветра, 3 – осадки, 4 – влажность воздуха, 5 – облачность. Показаны также – линейный и квадратичный тренды изменения факторов.

Матрица корреляционных коэффициентов между приведенным выше набором факторов представлена в табл. 3. Последовательность именования строк (столбцов): температура воздуха – X1, скорость ветра – X2, общая облачность – X3, осадки – X4, влажность воздуха – X5.

Таблица 3.

Матрица корреляционных коэффициентов.

	X1	X2	X3	X4	X5
X1	1.0000	-0.4790	-0.5213	-0.1344	-0.2064
X2	-0.4790	1.0000	0.1557	0.1228	0.3201
X3	-0.5213	0.1557	1.0000	0.3793	0.2941
X4	-0.1344	0.1228	0.3793	1.0000	0.6185
X5	-0.2064	0.3201	0.2941	0.6185	1.0000

Из таблицы видно, что между скоростью ветра, общей облачностью, осадками, влажностью воздуха имеются положительные корреляционные связи. Между температурой воздуха и другими факторами все связи отрицательны. По абсолютной величине корреляционные связи слабые. Лишь для пары осадки-влажность воздуха коэффициент корреляции превышает порог 0.6. Эти результаты вполне соответствуют тем, которые были получены по отдельным ГМС региона.

На основе анализа обобщенных данных о динамике средне-июльской температуры были выбраны годы с максимальной и минимальной температурой воздуха на интервале с 1970 по 2020 гг. для проведения биоклиматических расчетов. Наиболее теплым был 1984 г. (средняя температура июля по всем станциям 14.5°C), наиболее холодным – 1974 (средняя температура 8.8°C). В 21 веке наиболее теплым был 2012, холодным – 2018 год. Средние температуры июля, соответственно 14 и 9.6°C. Для расчетов была выбрана первая пара лет, поскольку в это время все метеостанции находились в рабочем состоянии и можно было использовать фактические данные, а не их прогнозные значения. «Средними» и наиболее близкими к линейному температурному тренду на границах интервала были 1970 и 2014 гг. Средняя температура июля, соответственно равна 11.1 и 11.8°C.

Моделирование биоклиматической структуры ареала северных оленей

При решении задачи определения биоклиматической структуры ареала мы основывались на концепции термонеutralности, трактуемого в широком смысле, как способность организма животного поддерживать тепловой баланс в некотором диапазоне значений погодно-климатических факторов за счет работы физиологической системы терморегуляции без изменений теплопродукции, направленных исключительно на устранение перегрева или переохлаждения организма. Такой диапазон значений факторов именуется в физиологии зоной теплового комфорта животных (ЗТК). Данное положение соответствует биологическим представлениям о терморегуляции теплокровных животных [1, 2, 9, 11].

Однако определить границы ЗТК и метризовать ее биоклиматическую структуру весьма сложно, учитывая комплексный характер воздействия метеофакторов и совместную работу различных физиологических систем терморегуляции оленя. Для оценивания уровня комфортности существования животных использовалась модель теплового баланса северного оленя [5, 6].

В модели имитируется работа системы регулирования тепловых потоков организма животного. В пределах ЗТК имеет место баланс величин теплопродукции и теплопотерь организма оленя, поддерживаемый за счет работы системы терморегуляции (изменения теплопроводности шерстяного покрова, теплопроводности тканей оболочки, изменения теплоотдачи системы дыхания). За границей ЗТК тепловой баланс устанавливается путем изменений величина теплопродукции. Переохлаждение компенсируется путем включения механизмов химической системы регулирования (холодовая мышечная дрожь и холодовой мышечный тонус), увеличивающих теплопродукцию организма. Поддержание теплового баланса при перегреве

обеспечивается путем снижения уровня метаболизма и, соответственно, теплопродукции организма животного [1, 8]. В качестве регулируемой величины используется разность теплопродукции и теплоотдачи с балансированием в пределах как отдельной фазы поведения животного (передвижение, отдых, питание), так и цикла этих фаз в суточном бюджете времени [7].

Однако ЗТК не однородна по интенсивности работы системы терморегуляции, отражающей степень воздействия факторов климата на животное. В используемом нами подходе к определению биоклиматической структуры ареала принято предположение, что напряженность воздействия климатических факторов в пределах ЗТК можно оценить по состоянию системы терморегуляции организма животного. В качестве обобщенного показателя состояния системы использована взвешенная аддитивная свертка, веса в которой выбраны пропорциональными вкладу подсистем терморегуляции в общую величину теплоотдачи организма животного. Показателем напряженности воздействия климатических факторов на животных является нормированная величина свертки. Нормирование выполнено таким образом, чтобы на верхней границе ЗТК показатель напряженности $K = 1$, на нижней границе $K = 0$. За пределами ЗТК к показателю напряженности на границе добавляется относительная величина дисбаланса теплопродукции и теплопотерь организма. При перегреве величина показателя напряженности $K < 0$, при переохлаждении $K > 1$. Чем больше относительно единицы или меньше относительно нуля показатель напряженности, тем большая энергетическая цена должна быть заплачена животным для восстановления теплового баланса. Энергетический дисбаланс приводит к падению защитных и репродуктивных показателей животных, вследствие чего олени длительное время в таких условиях существовать не могут.

Результаты моделирования для контрастных по средне июльской температуре лет и для температур на линии тренда в начале и в конце временного интервала массива метеоданных приведены на рис. 6. Как видно из рисунков, сдвиги границ зоны теплового комфорта, связанные с межгодовыми колебаниями метеофакторов (главным образом – температуры воздуха) более, чем в 2 раза превосходят сдвиги, связанные с потеплением климата по его линейному тренду. Отметим также, что на севере Таймыра в летний период сохраняются территории, где линияющие олени испытывают переохлаждение.

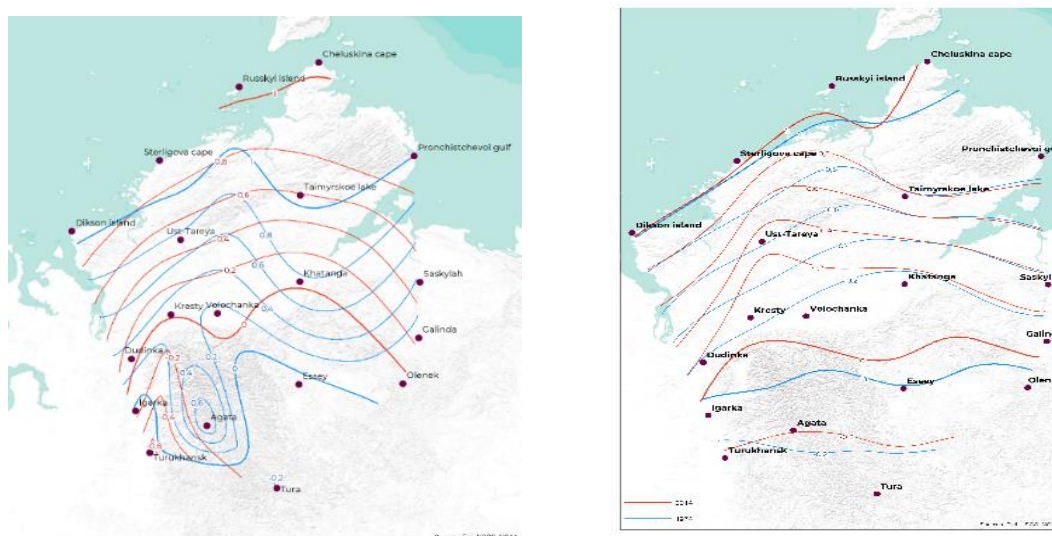


Рис. 6. Биоклиматическая структура ареала дикие северных оленей в июле. Слева – 1974 г. – синий, 1989 г. – красный. Справа – 1973 г. – синий, 2014 г. - красный

Закключение

Результаты анализа рядов климатических данных за 50 лет показали, что в период положительных температур произошло повышение температуры воздуха по всем

метеостанциям. При этом в среднем по станциям температура в июне возросла на 4, в июле – на 1.2, августе – на 0.8 и сентябре – на 1.4°C. В среднем по региону температура в период с положительными температурами воздуха повысилась на 1.8°C. В результате существенно увеличилась сумма положительных температур – в 3 раза в районе метеостанции на мысе Челюскина, в 2 раза для станции на мысе Стерлигова и примерно на 20-30% для районов более южных и континентальных станций. Потепление привело к ослаблению корреляционных связей, уменьшению размерности и распаду кластеров, объединяющих корреляционно сильно связанные станции и характеризующих однородность и стабильность температурных полей региона.

Отметим, что межгодовые отклонения в рядах данных по температуре в среднем составляют $\pm 4^\circ\text{C}$, что существенно выше изменений температуры, связанных с потеплением. Анализ показал, что корреляционные связи между факторами (температура воздуха, скорость ветра, влажность, осадки, общая облачность) слабая. При этом связи температуры воздуха со всеми факторами отрицательны.

Обобщенно прямое воздействие погодно-климатических факторов на оленей отражается в формировании на территории ареала зоны теплового комфорта, в границах которой тепловой баланс животного поддерживается за счет работы физиологической системы терморегуляции без изменения величины теплопродукции. Путем моделирования было установлено, что сезонные перемещения оленей позволяют животным постоянно находиться в благоприятных, с точки зрения поддержания устойчивого теплового баланса, условиях. При этом в наиболее важные для благополучия популяции периоды – во время отела и осеннего нагула – животные находятся на территориях с оптимальными биоклиматическими условиями ($0.4 < K < 0.6$) [2]. В домашнем оленеводстве стада традиционно выпасаются на территориях с наиболее выгодными биоклиматическими условиями, причем оленеводы придерживаются их даже, при значительном истощении кормовых ресурсов [5, 13]. Как показали расчеты (рис. 6), смещение границы перегрева в результате потепления климата составило около 60 км к Северу и это приводит к изменению районов сезонных пастбищ.

Для выполнения расчетов и отображения результатов использовались пакеты программ SCILAB и QGIS. Работа выполнена в рамках бюджетной темы ZZFZ-2022-0004.

Список литературы

1. Иванов К.П. Основы энергетики организма. Т. 1. Общая энергетика, теплообмен и терморегуляция. Л.: Наука, 1990. 310 с.
2. Иванов К.П. Современные теоретические и практические проблемы гомеотермии и терморегуляции. Рос. физиол. журн. Им. И.М.Сеченова, т. 92, № 5, 2006. С 578-592.
3. Клоков К.Б., Михайлов В.В. Выявление территорий климатического оптимума для традиционного оленеводства коренного населения Ямало-Ненецкого автономного округа. Известия СПб аграрного университета. №40, 2015. С.105-108.
4. Колпашиков Л. А., Михайлов В. В., Мухачев А. Д. Экосистема «северные олени - пастбища - человек». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 336 с.
5. Макеев В. М., Клоков К. Б., Колпашиков Л. А., Михайлов В. В. Северный олень в условиях изменяющегося климата. СПб.: Лемма, 2014. 244 с.
6. Михайлов В.В. Модель регулирования теплового баланса северного оленя как элемент программного обеспечения интегрированного мониторинга. //Труды СПИИРАН, т. 13, 2013. С. 255-276.
7. Овсов А.С. Терморегуляторные механизмы природных адаптаций северного оленя. Автореф. канд. дисс. Л.:1991. 20 с.
8. Соколов А.Я., Кушнир Ф.И. Терморегуляция и биоэнергетика северного оленя. Новосибирск: Изд. СО РАН, 1987. 178 с.
9. Шмидт-Ниельсен К. Физиология животных. Т. 1. М.: Мир, 1982. 400 с

10. Cuyler C. Temperature Regulation and Survival in Svalbard Reindeer (*Rangifer tarandus platyrhynchus*). Dissert. for the Degree of Doc. Scientiarum. Oslo, 1992, 119 pp. unpublished.
11. Human Physiology. Editirs: Schmidt R.F. Thews G. Springer-Verlag, 1989. 827 p.
12. Klovov K.B., Mikhailov V.V. Assessment of Climatic Conditions for Siberian Reindeer Herding on the Basis of Heat Balance Modelling. *ARCTIC*, Vol. 72, NO. 1, 2019. P. 28-42. doi.org/10.14430/arctic67916
13. Kolpaschikov, L.A., Mikhailov, V. and Russell, D.E., 2015, The role of harvest, predators, and socio-political environment in the dynamics of the Taimyr wild reindeer herd with some lessons for North America. *Ecology and Society*, **20**(1), 9. doi: 10.5751/ES-07129-200109|.
14. Mikhailov V., Kolpaschikov L., 2017. Population Dynamics of the Taimyr wild Reindeer Herd. //International Journal of Enviromental Studies. Vol. 74, Issue 5: Siberian Biodiversity. P. 862-883.

© Михайлов В.В. , 2022

Попова Ольга Александровна

доктор биологических наук, профессор, Забайкальский государственный университет
672015, Россия, г. Чита, ул. Александрово-Заводская 30; e-mail: olga.popova-54@yandex.ru

**ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСКУРСИИ «ЗИМА В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ
ЗАБАЙКАЛЬЯ»**

АННОТАЦИЯ. Разработана зимняя экскурсия и лабораторная работа для обработки материала по знакомству студентов с зимними явлениями в жизни растений Забайкалья. Установлено, что экскурсию следует проводить в сосновом лесу в первой декаде декабря. Выявлены виды растений (*Pinus silvestris*, *Betula platyphylla*, *Rhododendron dauricum*, *Vaccinium vitis idaeae*, *Pulsatilla patens*, *Pyrola asarifolia*, *Polygonatum odoratum*, *Fragaria orientalis*) на примере которых можно показать различный характер подготовки к зимнему периоду.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: зимняя экскурсия, приспособления растений, сосновый лес, Забайкалье.

Popova Olga Alexandrovna

Doctor of Biology, Professor, Transbaikalian State University, Chita, Russia

**ORGANIZATION AND CONDUCT OF THE EXCURSION "WINTER IN THE LIFE OF
PLANTS OF TRANSBAIKALIA"**

ANNOTATION. A winter excursion and laboratory work have been developed to process material on familiarizing students with winter phenomena in the life of plants in Transbaikalia. It is established that the excursion should be conducted in a pine forest in the first decade of December. Plant species (*Pinus silvestris*, *Betula platyphylla*, *Rhododendron dauricum*, *Vaccinium vitis idaeae*, *Pulsatilla patens*, *Pyrola asarifolia*, *Polygonatum odoratum*, *Fragaria orientalis*) have been identified on the example of which it is possible to show the different nature of preparation for the winter period.

KEYWORDS: winter excursion, plant adaptations, pine forest, Transbaikalia.

Программа рассредоточенной Учебной практики (Научно-исследовательская работа) для студентов направления подготовки 44.03.05 «Педагогическое образование» профиль «Биология и химия» предусматривает проведение экскурсии по изучению осенних, зимних и весенних явлений в жизни растений [1]. Первая экскурсия и экологические исследования по изучению приспособлений растений к периоду покоя проводится осенью. Нами был подготовлен материал о проведении осенней экскурсии в сосновый лес и об организации наблюдений учащихся за осенними явлениями в жизни растений [2]. Зимнюю экскурсию следует проводить в то же сообщество, что и осеннюю, чтобы проследить, что происходит с растениями в зимний, наиболее тяжёлый в их жизни, период.

Перед экскурсией студенты самостоятельно знакомятся с теоретическим краеведческим материалом о зимних явлениях в жизни растений на примере тех видов, которые будут встречены на экскурсии.

Задачи экскурсии: познакомить учащихся с зимним состоянием растений соснового леса, выяснить, как зимуют растения различных жизненных форм, изучить их приспособительные особенности, научиться распознавать наиболее распространённые местные виды деревьев и кустарников в безлистном состоянии.

Время экскурсии: первая декада декабря.

Оборудование: нож, целлофановый пакет, лупа.

Объекты наблюдений: *Pinus silvestris* L., *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr., *Betula platyphylla*

Sukacz., *Populus tremula* L., *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar, *Vaccinium vitis idaeae* L., *Rhododendron dauricum* L., *Salix bebbiana* Sarg., *Spiraea media* Schmidt, *Rosa davurica* Pall., *Pulsatilla patens* (L.) Mill., *Pyrola asarifolia* Michaux., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Fragaria orientalis* Losinsk., *Carex pediformis* C. A. Mey., и др.

Место проведения экскурсии: сосновый лес. Желательно проводить экскурсию по тому же маршруту, что и осенью.

Проведение экскурсии. В начале экскурсии необходимо отметить изменение погодных условий, свидетельствующих о наступлении зимы: завершение ледостава на реках, установление постоянного снежного покрова, переход минимальных температур ниже 0°C, завершение хвоепада у *Larix gmelinii*.

Растения зимой находятся в состоянии глубокого покоя. Преподаватель вместе со студентами выясняет, как зимуют растения разных жизненных форм. Знакомство с ними удобнее начать с деревьев. Прежде всего, следует обратить внимание на то, как зимуют молодые побеги различных деревьев, не убьет ли их своим ледяным дыханием наступившая зима. Студенты устанавливают, что однолетние молодые побеги, которые в начале лета были покрыты лишь тонким эпидермисом, теперь оделись слоем пробки. Она представляет собой защитную ткань, состоящую из отмерших клеток, полости которых заполнена воздухом. Воздух в клетках придает пробке теплоизоляционные свойства. Стенки пробковых клеток пропитаны суберином – веществом, обладающим свойством не пропускать воду и газы. Пробка защищает живые части веточек от действия неблагоприятных зимних условий (испарения воды и низких температур).

Из древесных растений в лесу могут встретиться *Pinus silvestris*, *Larix gmelinii*, *Betula platyphylla*, *Populus tremula*, *Populus suaveolens* Fisch., *Duschekia fruticosa*, виды рода *Rosa*. Как распознать их в зимнем лесу? Вместе с преподавателем студенты выявляют отличительные морфологические признаки встреченных видов. *Pinus silvestris* не сбрасывает на зиму листья. На маленьком укороченном побеге у неё остаются два узких листочка (хвоинки). На зиму хвоя темнеет, становится тусклой (толщина кутикулы на листьях увеличивается). В этот период в её листьях вместо крахмала образуются сахара, что способствует повышению их зимостойкости.

У *Larix gmelinii* осенью происходит хвоепад. Зимой на её ветках остаются серо-черные укороченные побеги, на которых весной образуются нежные, мягкие многочисленные хвоинки. На ветках заметны зрелые желто-коричневые шишки размером до 2 см. Кора у лиственницы красноватая, толстая, глубокобороздчатая.

У листопадных деревьев в безлистном зимнем состоянии следует обращать внимание на следующие признаки: цвет коры, расположение ветвей в кроне, её форму, наличие серёжек, созревших плодов, характер почек.

Легче всего узнать *Betula platyphylla*. Её белая с черными пятнышками кора видна издали. Характерны для березы крупные боковые ветви, отходящие от ствола под острым углом. А молодые веточки у неё тонкие, свисающие вниз. На них можно заметить 2-4 маленькие плотные тычиночные серёжки, с плотно сомкнутыми чешуйками. Почki березы мелкие, заострённые, черновато-коричневые.

На старых стволах *Populus tremula* кора в нижней части трещиноватая, серая, а в кроне она зеленоватая и гладкая. Кроме того, в нижней части на коре видны пятна лишайников, и это тоже примета осин. На веточках осины, в отличие от березы, серёжек не видно. Зато среди заострённых буроватых листовых почек есть более крупные яйцевидные почки со слегка расходящимися чешуйками. Они располагаются на укороченных побегах. Коричневые кожистые чешуи этих почек несколькими рядами плотно налегают друг на друга, покрыты смолистым веществом, которое и является прекрасной защитой. Внутри почки находятся укороченные, уже опушённые серёжки.

В Забайкалье встречается два вида рода *Alnus* Miller: *Alnus hirsute* (Spach) Turcz. ex Rupr. (дерево или крупный кустарник) и *Alnus sibirica* (Spach) Turcz. ex Kom. (кустарник или небольшое дерево). Ствол у ольхи светло-серый. На концах однолетних побегов развиваются

несколько маленьких темных серёжек. Это тычиночные соцветия, их чешуйки плотно сжаты, но все цветки вполне сформированы. На двухлетних веточках ольхи висит несколько чернобурых деревянных шишечек. В них находятся зрелые плоды - двукрылые орешки. Шишечки раскрываются в феврале-марте и после распространения орешков ещё долго остаются на ветвях.

Populus suaveolens легко отличим от других деревьев. Кора у него гладкая, светло-серая. Почки большие, длинные, клейкие, душистые и даже зимой пахнут тополем.

После наблюдения за деревьями следует обратить внимание на кустарники. Хорошо отличается от остальных кустарников зимнезелёный *Rhododendron dauricum*. На его побегах заметны коричнево-бурые, скрученные в трубку жёсткие листочки. Листья накопили антоциан, благодаря которому лучистая энергия солнца переходит в тепловую и растение лучше прогревается при низкой температуре. На веточках заметны мелкие заострённые листовые и более крупные округлые цветочные почки. Почечные чешуи последних тонкие, плёнчато-кожистые, не липкие, не опушенные.

Кустарники рода *Rosa* можно узнать по шипам на стеблях и по сохранившимся сморщенным красным плодам. У *Rosa acicularis* Lindl. стебли буровато-коричневые, все колючие, а у *Rosa davurica* они красно-коричневые с редкими парными шипами.

Виды рода *Salix* двудомны: на одном растении развиваются только мужские, тычиночные цветки, на другом - только женские, пестичные. Внутри более крупных цветочных почек греются многочисленные белые пушистые волоски - шуба, защищающая от морозов будущую серёжку. Сверху цветочная почка покрыта одной-единственной тонкой плёнчатой почечной чешуей. В такой шубе сибирский мороз не страшен. В сосновом лесу мы можем встретить *Salix bebbiana*.

После проведённых наблюдений и установления специфических признаков каждого вида древесных растений в дневнике наблюдений следует сделать соответствующую запись. Эти данные понадобятся для составления ключа для определения древесных растений в зимнем состоянии. Студенты срезают для лабораторного анализа побеги встретившихся деревьев и кустарников.

Для знакомства с зимним состоянием кустарничков (брусника) и травянистых растений следует расчистить снег на двух площадках (на осенней экскурсии нужно было оставить специальные метки, по которым их можно найти). Первая площадка — на затенённом, более заснеженном участке леса. Перед расчисткой площадки необходимо предварительно измерить глубину снежного покрова, определить по слоям, сколько раз за зиму выпадал снег. На этом первом участке встречается теневыносливый вечнозелёный кустарничек - *Vaccinium vitis idaeae*, зимнезелёные травянистые растения - *Pyrola asarifolia*, *Fragaria orientalis*. Обратите внимание на изменение окраски листьев (также накапливается антоциан), рассмотрите положение зимующих почек и степень их защищённости. Сделайте вывод о значении снежного покрова и лесной подстилки для перезимовки найденных растений. Выкопайте растения для лабораторного анализа.

Вторая площадка расположена на открытом, продуваемом месте. На этой площадке следует посмотреть, как зимуют *Pulsatilla patens* (L.) Mill. *Taraxacum collinum* DC., *Oxytropis miriophylla* (Pall.) DC. Осторожно раздвиньте старые отмершие листья у поверхности почвы и найдите почки возобновления. Проверьте, как они сохранились. Ещё раз посмотрите, как защищены почки этих растений и сравните степень их защищённости с почками земляники и грушанки. Возьмите растения для лабораторного анализа. Если удастся выкопать корневища *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce., посмотрите, как сохранились на нём почки, и возьмите его для лабораторного анализа.

После знакомства с зимним состоянием травянистых растений следует прикрыть расчищенные площадки снегом, чтобы растения смогли дальше благополучно перезимовать.

Работа в лаборатории по обработке материала, собранного во время экскурсии

7. Поставьте веточки древесных растений в банки с водой в тёплое светлое место. Пронаблюдайте, в какой последовательности у растений будут распускаться почки. Сравните

сроки распускания почек зимой с осенними результатами. Сделайте вывод о глубине покоя.

8. Изучите строение почек по плану:

4. расположение на побеге (одиночные или парные, сидячие или на ножках),

5. форма почек,

в) окраска и размеры почек,

г) число почечных чешуй, их форма, консистенция, обнаружены ли волоски, смолистые вещества или воск? У каких растений? Каково их значение?

д) сделайте продольный срез почек и определите их вид: листовая, цветочная, смешанная. Определите, чем они отличаются по внешнему и внутреннему строению,

е) на основании вышеуказанных данных сделайте выводы: чем отличаются почки растений разных жизненных форм? Как это можно объяснить? Какое это имеет значение?

3. Проверьте содержание запасных веществ в зимующих органах травянистых и древесных растений. Для этого сделайте тонкие поперечные срезы с органов растений и подействуйте на них разными индикаторами: раствор йода (индикатор на крахмал), судан-3 (индикатор на масло), реактив Феллинга (индикатор на сахар). Сравните с осенними результатами.

Контрольные вопросы к зимней экскурсии и лабораторной работе.

5. Почему легкий мороз весной или рано осенью более опасен для растений, чем сильные морозы зимой?

6. Каково значение снежного покрова в перезимовке растений?

7. Почему многие из высших животных могут нормально жить и развиваться зимой, в то время как высшие растения не в состоянии?

8. Что для деревьев окажется более вредным: потеря половины ветвей от снежной бури или всех листьев от нападения насекомых летом?

9. Почему заготовленные зимой дрова ценятся больше заготовленных летом?

10. Весной веселит, летом прохлаждает, осенью питает, зимой согревает.

Таким образом, после проведения всего комплекса экскурсий и исследований студенты обобщают полученные результаты и оформляют отчет, который докладывают на заключительной конференции. Кроме этого, студенты, пользуясь результатами своих исследований должны разработать школьную экскурсию для обучающихся по знакомству с зимними явлениями в жизни растений Забайкалья.

Список литературы

1. Попова, О. А. Организация и программа фенологических наблюдений в Забайкалье / О. А. Попова // Проблемы комплексного изучения человека в условиях Забайкалья. – Чита, 1996. – С. 336-370.
2. Попова, О. А. Организация и проведение осенней экскурсии студентов в сосновый лес / О. А. Попова // Состояние окружающей среды: проблемы экологии и пути их решения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (20-21 декабря 2021, Усть-Илимск) (в печати).

© Попова О.А., 2022

Прокофьева Екатерина Дмитриевна,

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина ФБГУН Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», 184209, Россия, г. Апатиты Мурманской области, ул. Ферсмана 18 а; e-mail: e.prokofieva@ksc.ru

Липпонен Ирина Николаевна,

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина ФБГУН Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», 184209, Россия, г. Апатиты Мурманской области, ул. Ферсмана 18 а; e-mail: i.lipponen@ksc.ru

ПРЕДПОСЫЛКИ К ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ КОЛЛЕКЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА-ИНСТИТУТА)

АННОТАЦИЯ. В настоящей работе представлен анализ базы многолетних фенологических наблюдений за сроками наступления фенологических фаз вегетативного развития листовых дендроинтродуцентов Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБСИ). Представлена оценка полноты базы фенологических наблюдений за период с 1980 г. по 2021 г. Установлено существенное влияние человеческого фактора на непрерывность процесса наблюдений и полноту данных в ПАБСИ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фенологические наблюдения, базы данных.

Prokofieva Ekaterina Dmitrievna,

Polar Institute of the Kola Science Center; Apatity, Murmansk region, Russia

Lipponen Irina Nikolaevna,

Polar Institute of the Kola Science Center; Apatity, Murmansk region, Russia

PREREQUISITES FOR OPTIMIZING THE PROCESS OF PHENOLOGICAL OBSERVATIONS (ON THE EXAMPLE OF THE COLLECTION OF WOOD PLANTS OF THE POLAR ALPINE BOTANICAL GARDEN INSTITUTE)

ANNOTATION. This article presents an analysis of the database of long-term phenological observations of collections of woody plants of the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute (PABSI KSC RAS). The article presents an assessment of the completeness of the base of phenological observations of the vegetative seasonal development of deciduous arboreturns of the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute (PABSI) in the period from 1980 to 2021. The main prerequisites for optimizing the process of phenological of observations are revealed.

KEYWORDS: phenological of observations, databases.

Введение

Широко используемые программы наблюдений за фенологическими явлениями (Шиманюк, 1957; Шиголев, Шиманюк, 1962; Тавровский, 1977; Аксенова и др., 1979; Шульц, 1981; Булыгин и др., 1982; Аксенова и др., 1985; Филонов, Нухимовская, 1990; Аксенова, 1993; Куприянова и др., 2000) в России отрабатывалась на протяжении многих лет. Однако, несмотря на стандартизацию, унификацию названий фенологических фаз, единообразие признаков наступления того или иного события, разработка общепринятой системы потребовала длительного времени. В 2020 году Минин А. А. с соавторами предложили унификацию фенологических наблюдений, которая позволила бы не только стандартизировать процесс сбора первичной информации по различным программам фенологического мониторинга, но и обеспечила бы сопоставимость данных из разных

пунктов и однородность рядов [1].

Важность этого, для объективного анализа материалов наблюдений и получения достоверных результатов, несомненна. Однако, на многолетние и непрерывные данные наблюдений, которые также определяют более высокую достоверность результатов при анализе, сама унификация и стандартизации никаким образом не влияет. Речь идет о том, что систематичность и непрерывность ведения самой программы наблюдений зависит от субъекта наблюдения. Так, например, практически во всех ботанических садах присутствует деятельность по наблюдению за сезонным развитием растений находящихся в коллекциях. При этом сотрудники, которые их проводят, обладают конкретными компетенциями в области изучения объектов. Другими словами, не любому сотруднику поручают ведение фенологических наблюдений, поэтому отсутствие специалиста в деятельности такого рода может отрицательно влиять на сбор, обработку и хранение данных. Так, например, потеря компетентного сотрудника в процессе сбора данных может не только спровоцировать пропуски в программе наблюдения текущего года, но и прервать многолетние данные полностью для одного и более объектов. Вместе с этим так же нельзя игнорировать изменение или утерю данных по причине неосторожности (невнимательности) или умыслу в процессе обработки и хранения информации.

Целью настоящей работы является выявление основных предпосылок к оптимизации процесса фенологических наблюдений на основе анализа многолетних фенологических наблюдений за древесным растениями.

Материалы и методы

Объектом исследования послужили многолетние фенологические наблюдения за вегетативным сезонным развитием лиственных дендроинтродуцентов Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБСИ) в период с 1980 г. по 2021 гг. Полнота наблюдений для каждого года рассчитывалась по формуле: $P_y = N_y * k - F_y$, где y – год наблюдения, где N – общее число таксонов в год наблюдения, k – количественный коэффициент фаз ($k=12$), F – общее число пропущенных фаз в год наблюдения в среде. Значение F для каждого года определялось я помощью среды Logitom SE 6.5.3.

Результаты

Анализ базы фенологических наблюдений (рис. 1) отражает полноту фенологических наблюдений за вегетативным сезонным развитием лиственных древесных интродуцентов ПАБСИ за 1980-2021 гг. в %.

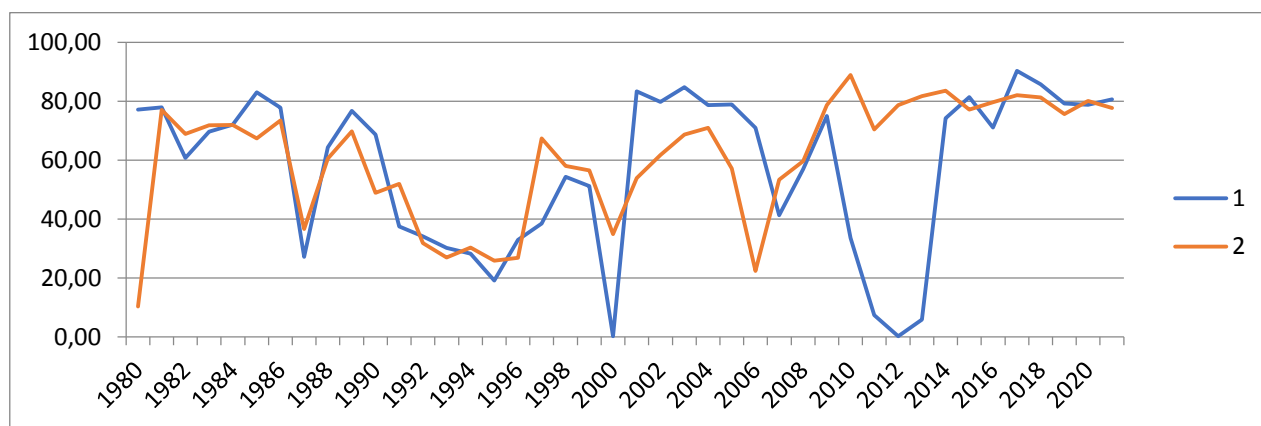


Рисунок 1. Полнота фенологических наблюдений за вегетативным сезонным развитием лиственных дендроинтродуцентов ПАБСИ за 1980-2021 гг., % (1 – Дендрарий северных и высокогорных видов, 2 – Основная дендрологическая коллекция).

Сопоставление данных с информацией кадровой службы ПАБСИ и регистрационными данными фенологической картотеке установлено следующие: низкий

процент полноты (менее 40%) в периоды с 1992 по 1998 гг. и 2006 по 2008 гг. для обеих баз связан с сокращением штата сотрудников. Для остальных лет: 1988 г., 2000 г., а так же 2013-2014 гг. полная или частичная утрата данных произошла по вине ответственных сотрудников (так в 2000 г. и 2012 г. отмечается полное отсутствие данных по Дендрарию северных и высокогорных видов). Таким образом, можно полагать, что внедрение современных технологий, таких как штрих-кодирование [2], функции моментального занесения наблюдений в базу данных, хранящуюся на сервере, посредством мобильных устройств [3,4], обученные нейронные сети, смогут существенно снизить риск прерывания программы наблюдения и потери данных.

Заключение

Анализ данных указывает на значительное влияние человеческого фактора на полноту и непрерывность фенологических наблюдений в ПАБСИ. Внедрение современных технологий, как штрих-кодирование, функции моментального занесения наблюдений в базу данных, использование мобильных устройств и нейронной сети, позволят не только снизить риск прерывания программы наблюдения и потери данных, но и в целом снизить нагрузку на специалистов. Это связано в первую очередь с тем, что моментальное занесение наблюдений данных в базу данных полностью исключает этап обработки первичных данных их журналов и переноса данных в электронный вид, во вторую, что обученные нейронные сети позволят привлекать, при необходимости, к сбору фенологических данных иных сотрудников. Оптимизация процесса фенологических наблюдений является не менее важной наряду с унификацией и стандартизацией в совокупности позволят повысить не только эффективность и уровень исследований, но и сохранность самих данных.

Работа выполнена в рамках темы НИР FMER-2021-0002 «Коллекционные фонды ПАБСИ как основа сохранения биоразнообразия, развития биотехнологий, оптимизации условий городской среды, фиторееабилитации и экологического образования» (рег. номер 1021071612834-6-1.6.20) и использованием уникальной научной установки «Коллекции живых растений ПАБСИ» (рег. номер 499394).

Список литературы

1. Минин, А. А. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России / А. А. Минин, А. А. Ананин, Ю. А. Буйволов [и др.] // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2020. – Т. 5. – № 4. – С. 89-110.
2. Havinga, R. M. Barcodes are dead, long live barcodes! improving the inventory of living plant collections using optical technology/ Reinout M Havinga, Havard Ostgaard // SIBBALDIA: The Journal of Botanic Garden Horticulture. 2016. № 14. P.133-140.
3. Лебедев, М. М. Оптимизация скорости работы Android устройств с локальной базой данных / М. М. Лебедев, М. В. Раскатова // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2020. – Т. 5. – № 2(16). – С. 3-21.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020665266 Российская Федерация. Модуль автоматического формирования словаря кодирования/декодирования данных и SQL-запросов к сетевой базе данных : № 2020664093 : заявл. 11.11.2020 : опубл. 24.11.2020 / И. Д. Королев, Е. С. Литвинов, С. Е. Кияшко [и др.].

© Прокофьева Е. Д., Липпонен И. Н., 2022

Сапельникова Инна Игоревна,

старший научный сотрудник; Воронежский государственный природный биосферный заповедник им. В.М. Пескова, 394080, Россия, г. Воронеж, Госзаповедник; e-mail: is@reserve.vrn.ru

Шуйская Елена Александровна,

кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе; Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник, 172521, Россия, Тверская область, пос. Заповедный; e-mail: phenologyarussia@gmail.com

Прокошева Ирина Владимировна,

независимый исследователь, 618590, Россия, Пермский край, г. Красновишерск; e-mail: halsori@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ ООПТ

АННОТАЦИЯ. В статье даны примеры обработки фенологических данных в программе Excel: перевод дат в непрерывные ряды, получение некоторых характеристик многолетних данных, оценка направленных изменений параметра во времени. Приведены примеры анализа фенологических данных с использованием нормированного отклонения в качестве критерия «нормы» для количественной и качественной оценки сезонного развития биоты. Показаны вычисления границ сезонов и устойчивых температурных переходов по правилу расчета устойчивого перехода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: временной ряд, нормированное отклонение, температурный переход, фенологическое явление.

MATHEMATICAL PROCESSING OF PHENOLOGICAL DATA

Sapelnikova Inna Igorevna,

Senior Researcher; Voronezh State Natural Biosphere Reserve named after V.M. Peskov, Voronezh, Russia

Shuyskaya Elena Alexandrovna,

Candidate of Biology, Deputy Director for Research; Central Forest State Natural Biosphere Reserve, Tver region, Zapovedniy, Russia

Prokosheva Irina Vladimirovna,

Independent researcher, Russia, Perm region, Krasnovishersk

ANNOTATION. Authors gives examples of processing phenological data in the Excel program: converting dates into continuous series, obtaining some characteristics of long-term data, assessing directional changes in a parameter over time. Examples of phenological data analysis of using the normalized deviation as a criterion of «norm» for the quantitative and qualitative assessment of the seasonal development of biota are given. The calculations of the season boundaries and stable temperature transitions are shown according to the rule for calculating a stable transition.

KEYWORDS: time series, normalized deviation, temperature transition, phenological phenomenon.

Введение. Во многих российских заповедниках накоплены длительные многолетние ряды (около 100 лет) за явлениями абиотической и биотической среды. К сожалению, массивы данных, характеризующие состояние окружающей среды, по разным причинам обрабатываются не на всех особо охраняемых природных территориях (ООПТ). В некоторых заповедниках не делают даже первичную обработку данных из-за отсутствия в штате специалиста [1].

В последнее десятилетие (с 2011 по 2020 гг.) около 50% ООПТ приняли участие в международном проекте ECN, предоставляя метео- и феноматериалы в единую базу для совместных публикаций в иностранных журналах [2]. Был опубликован ряд статей с участием сотрудников российских ООПТ, институтов и вузов [3, 4, 5, 6]. Но не все сотрудники владеют иностранным языком для обсуждения результатов и их использования в своих работах в полном объеме.

В последние 20 лет в связи с участвовавшими природными катаклизмами (ураганы, бури, смерчи, наводнения) за рубежом и в России отмечается возрастающий интерес ученых к многолетним климатическим и фенологическим данным (климатическая конференция ООН в Глазго, октябрь-ноябрь 2021 г.). Жителей Земли также волнуют прогнозы погоды и предстоящие климатические диссонансы. Поэтому сотрудники ООПТ должны обратить внимание на фенологические базы данных своих учреждений и провести математический анализ имеющейся информации.

Необходимо ежегодное представление метео- и феноданных всех ООПТ в специальных изданиях. Например, в 1970 – 1980-х гг. Московский филиал Географического общества (ныне Русское географическое общество) по «горячим следам» анализировал прошедший год в сравнении с многолетними гидрометеорологическими и фенологическими параметрами развития природы разных регионов и страны в целом, выпуская ежегодные сборники.

Отсутствие единого фенологического центра в России сдерживает работу в анализе многолетнего уникального фенологического материала.

Материалы и методы. В данной статье мы приведем простой алгоритм подготовки и обработки фенологических данных в программе Excel (версия 2010 и выше). Для успешного применения предлагаемых алгоритмов необходимо иметь начальные навыки работы с электронной таблицей. Многие сотрудники заповедников по разным причинам не могут освоить современные программы StatGraphic, Statistic, R. К тому же лицензионные программы отсутствуют в большинстве ООПТ. В статье использованы многолетние ряды фенологических данных Воронежского и Центрально-Лесного заповедников.

Используется терминология, принятая в справке Microsoft Office. Для работы с многолетними данными в Excel необходимо подключить пакет «Анализ данных». Этот пакет запускается из Меню Данные (иконка вверху справа на панели задач). Если этого пакета нет, его надо установить самостоятельно. Для этого выполнить следующее: открыть меню Файл, найти Параметры, далее – Надстройки. В этом разделе находим Управление (надстройки Excel) и нажимаем на кнопку рядом Перейти. В открывшемся окне ставим галочки рядом с Пакет анализа, Пакет анализа VBA и нажимаем Ок. После этого в меню Данные появится доступ к пакету. Внешнее оформление таблиц статьи такое, как если бы мы работали в Excel: в первых строке и столбце отображаются буквы английского алфавита и числа, синтаксис формулы соответствует правилам оформления и обязательно начинается со знака «=»; ячейка обозначается по имени столбца и номеру строки.

Результаты и обсуждение. Основные практические задачи фенологии – определить, когда наступает фенологическое событие, раньше или позже обычного оно произошло, теплее или холоднее стало в исследуемом регионе, раньше или позже наступил фенологический сезон и т.д. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) определила 30-летний отрезок времени оптимальным для расчета климатической нормы [7, 8]. В научной литературе было принято считать промежуток времени 1961–1990 гг. базовым периодом, с которым сравнивают текущие климатические изменения [8]. На 16-й сессии ВМО в 2014 г. специалисты договорились, что каждые 10 лет нужно обновлять климатические нормы. Согласно этому, до недавнего времени использовались климатические нормы 1981–2010 гг. В 2021 г. нормы вновь обновились и за период расчета принят интервал 1991–2020 гг. Все более новые климатические нормы следует сравнивать с периодом 1961–1990 гг., выявляя тенденции изменения климата.

Чтобы начать подготовку базы данных к анализу, рекомендуем названия всех явлений

привести в единый формат в соответствии с методическим руководством «Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России» [9], опубликованным в журнале Nature Conservation Research. Заповедная наука. При математической обработке фенологических данных вначале рекомендуется привести их в удобный формат, в данном случае в Excel (табл. 1). Это подготовительный этап работы.

Таблица 1.

Пример фенологической базы данных заповедника (в среде Excel).

А	В	С	Д	Е		AR
Фенологические объекты	Фенологические явления	1980	1981	1982	...	2021
Переход средней суточной температуры воздуха выше 0°C – устойчивый		15.03	23.03	28.03		20.03
Начало ледохода		20.03	19.03	12.03		24.03
Первые проталины в лесу		18.03	19.03	12.04		18.03
Тетерев	Начало токования	8.03	9.03	18.03		20.03
Скворец	Весенний прилет, первая встреча	15.03	23.03	14.03		20.03
.....						
Берёза	Начало сокодвижения	20.03	23.03	28.03		20.03
Черника	Начало цветения	22.05	12.05	23.05		25.05
Осина	Начало листопада	25.8	16.8	2.9		29.5
.....		...				

Фенологические данные, представленные в виде даты (день, месяц, год, 20.05.2008), нужно привести в непрерывный ряд по количеству дней от 1 января или от 1 марта по специальной таблице в формате Excel (табл. 2). Можно использовать и бумажные варианты таблиц (Международный номер дня по юлианскому календарю с 1 января; Российская система регистрации с 1 марта по шкале Г.Н. Зайцева [10]) и вбивать вручную, но в случае с многолетними массивами данных использование автоматического расчета значительно сокращает трудозатраты. Если даты фенологического события наступают после 1 марта, то лучше выбирать вариант перевода в непрерывный ряд от 1 марта. Этим снимается необходимость внесения правок в високосные годы. Если многолетний ряд состоит из дат января, или февраля, то выбираем перевод от 1 января. Для високосных лет к полученному результату нужно вручную прибавить 1, как если бы перевод осуществлялся от 1 января. В таблице 2 приведен пример перевода дат для начала цветения липы мелколистной от 1 марта. Все расчеты в таблице делаются автоматически.

Таблица 2.

Пример перевода дат в непрерывный ряд от 1 марта.

	А	В	С	Д
1	Годы	Липа мелколистная начало цветения	Переводная дата от 1 марта	01.03.1919
2	1990	05.июл	=РАЗНДАТ(\$D\$1;B2;"YD")+1 127	
3	1991	24.июн	116	
4	1992	29.июн	121	
...	...	...	...	
32	2020	19.июн	111	
33	2021	20.июн	112	
34	Средняя дата*	=СРЗНАЧ(С2:С33)	114,50*	23.6
35	Максимальная	=МАКС(С2:С33)	127	05.07.1990
36	Минимальная	=МИН(С2:С33)	102	10.06.2014
37	Число лет	=СЧЁТ(С2:С33)	32	
38	Стандартное отклонение	=СТАНДОТКЛОН.В(С2:С33)	7,01	
39	Ошибка средней	=С38/КОРЕНЬ(С37)	1,239	
40	Достоверность средней даты	=С34/С39	92,4	92,4>2,042 достоверно

* для удобства просмотра и копирования формулы функций перемещены из столбца С в В.

В зависимости от формата ячейки, число в Excel может принимать разное значение. В столбцах для ввода даты (столбец В) выбираем формат ячейки Дата (тип по предпочтению: 1 янв; 1.01). В столбце с переводной датой (столбец С) нужно поставить формат ячейки Общий. Выбираем ячейку, в которой будет стоять дата 1 марта. У нас это ячейка D1. Год может быть любым, при использовании функции РАЗНДАТ, это не имеет значения. Параметр "YD" в формуле позволяет игнорировать конкретный год. Главное, когда составляется формула, необходимо при ссылке на постоянную ячейку добавить символ \$ перед буквой и номером строки. После того как будет введена функция РАЗНДАТ в ячейку С2, получим переводную дату, соответствующую дате из ячейки В2. Далее «протягиваем» формулу с ячейкой на всю длину ряда в столбце, удерживая курсором мышки темный квадратик в нижнем правом углу выделенной ячейки с формулой. Получаем временной ряд в переводных датах. В базе правильно иметь многолетние ряды, представленные в виде обычных и переводных дат. Если ранее переводные даты были введены вручную, есть смысл перепроверить правильность их с помощью формулы. Большинство математических и статистических расчетов в Excel будут производиться с переводными датами, а реальные даты необходимы для проверки. Получив ряд переводных дат, мы можем посчитать статистику ряда. Для этого в столбец С необходимо скопировать или ввести формулы функций из столбца В ячейки С34:С40. В ячейке D40 приводится сравнение полученного значения критерия достоверности Стьюдента для средней t_m с табличным значением параметра $t_{2,042}$ для $p=0.05$ при числе лет наблюдений (СЧЕТ) – 32. Если расчетное число t_m больше критического по таблице значения критерия Стьюдента [10], то вычисленное значение средней даты достоверно.

Полученные статистические характеристики ряда «начало цветения липы» можно использовать в дальнейшем анализе. Среднемноголетняя дата (по Переводной таблице делаем обратный перевод в обычную дату) записывается с ошибкой или стандартным отклонением в зависимости от задач исследователя – $23.06 \pm 1,2$ или $23.06 \pm 7,0$. Ошибка и стандартное отклонение имеют размерность в днях.

Можно посмотреть динамику фенологического события за заданный период. Строим график (рис. 1), используя данные столбцов А и С из таблицы 2.

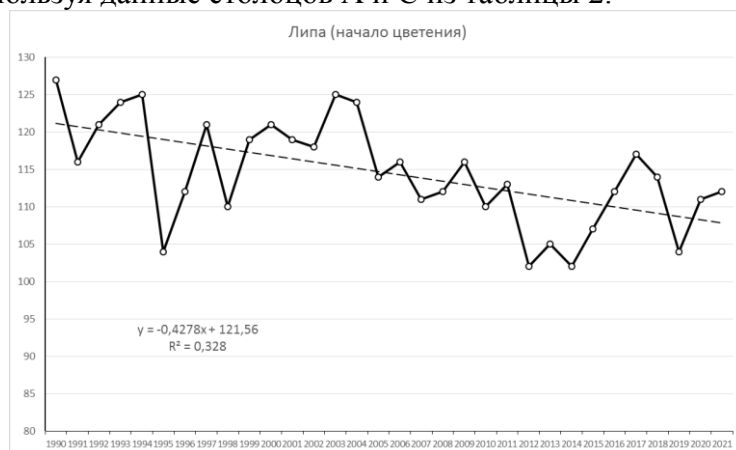


Рис. 1. Линейный тренд изменчивости начала цветения липы мелколистной в Воронежском заповеднике в 1990–2021 гг.

На графике можно добавить линию тренда. В параметрах линии тренда выбираем: Линейный, Показывать уравнение тренда и Поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R^2 (R^2). После этого на графике появится редактируемое окно с уравнением функции вида $y = Ax + B$, где y – даты, а переменная x – годы. Физический смысл коэффициента A для линейного уравнения – скорость, с которой происходит изменение значения y . Параметр R^2 , который чаще называют коэффициентом детерминации, альтернативный показатель степени зависимости между двумя переменными, в нашем случае показывающий, какая часть варьирования изучаемого параметра зависит от фактора времени.

R – вероятность ошибки принятия гипотезы о незначимости показателя тренда R^2 . Необходимо узнать, достоверно ли значение R^2 для анализируемого ряда. Для этого открываем Анализ данных, выбираем Регрессия. Заполняем входные данные, помня, что интервал X – это годы, интервал Y – даты. Указываем уровень надежности (по умолчанию стоит 95%). Для расчета достоверности R^2 достаточно условий. Выбираем ячейку или иное, где будет помещен результат расчета. В выбранной ячейке выводятся итоговые данные. Для нашего ряда расчет получился следующим (рис. 2).

Вывод итогов								
Регрессионная статистика								
Множественный R	0,572719							
R-квадрат	0,328007							
Нормированный R-квадрат	0,305607							
Стандартная ошибка	5,838875							
Наблюдения	32							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	1	499,2262	499,2262	14,6433	0,000613			
Остаток	30	1022,774	34,09246					
Итого	31	1522						
Коэффициенты статистики: R ² - значение; нижние 95% - нижние 95%, верхние 95% - верхние 95%, 0 - нижние 95, 0 - верхние 95, 0								
Y-пересечение	972,4247	224,1993	4,337322	0,00015	514,5486	1430,301	514,5486	1430,301
Переменная X 1	-0,427786	0,111791	-3,82666	0,000613	-0,656094	-0,19948	-0,65609	-0,19948

Рис. 2. Часть итогов регрессионного анализа из пакета Анализ данных для ряда «начало цветения липы».

Видим, что значение $R^2=0,3280$ на рисунках 1 и 2 совпадают. Результат Значимость F в строке Регрессия на рисунке 2 – необходимый нам расчет достоверности R^2 . В нашем случае $0,006 < 0,05$, что означает надежность полученных результатов, тренд достоверный. Знак « $\rightarrow$ » перед константой A в уравнении на рисунке 1 или коэффициентом Переменной X 1 (рис. 2) указывает, что тренд убывающий. Для временного ряда это означает более раннее наступление современных событий по сравнению с начальным периодом.

Значения константы A линейного уравнения можно получить с помощью функций НАКЛОН или ЛИНЕЙН (табл. 3).

Таблица 3.

Пример анализа временного ряда на присутствие тренда.

	А	В	С	Д
1	Годы	Липа мелколистная начало цветения	Расчеты для заданных интервалов наблюдений	
2	1990	127 значение из формулы		
3	1991	116		
4	1992	121		
...	...	...		
11	1999	119	1990–1999 гг.	
12	2000	121	=НАКЛОН(B2:B11;A2:A11)	-1,0364
13	2001	119	=КВПИРСОН(B2:B11;A2:A11)	0,1827
14	2002	118	p	$0,218 > 0,05$
15	2003	125		
...	...	...		
21	2009	116	2000–2009 гг.	
22	2010	110	=НАКЛОН(B12:B21;A12:A21)	-1,0061
23	2011	113	=КВПИРСОН(B12:B21;A12:A21)	0,4126
24	2012	102		$0,045 < 0,05$
...	...	...	2010-2021 гг.	
31	2019	104	=НАКЛОН(B22:B33;A22:A33)	0,3951

32	2020	111	=КВПИРСОН(B22:B33;A22:A33)	0,0824
33	2021	112		0,366> 0,05
34	коэффициент А линейного тренда	=НАКЛОН(B2:B33;A2:A33) или =ЛИНЕЙН(B2:B33;A2:A33;1;0)	-0,42779	
35	коэффициент детерминации R	=КВПИРСОН(B2:B33;A2:A33)	0,3280	
36	значимость р	из Анализа данных	0,0006	
37	скорость изменения средней даты за 10 лет	=B34*10	-4,27786	

Меняя входные интервалы в функции НАКЛОН и КВПИРСОН, можем получать константу А и R^2 для разных периодов одного временного ряда (табл. 3). В нашем случае только в 2000–2009 гг. и на всем протяжении временного ряда наблюдались процессы более раннего зацветания липы. Величина R^2 с ростом значения более 0,1-0,2 косвенно свидетельствует о наличии достоверного тренда, но это чаще всего оказывается справедливым для больших временных рядов в несколько десятков лет. Небольшие ряды наблюдений требуют обязательного расчета достоверности получаемых статистических переменных. Результаты анализа наличия направленных изменений (трендов) в динамике некоторых фенологических явлений приведен в таблице 4.

Таблица 4.

Характеристика некоторых метео-, и фенологических явлений в Центрально-Лесном заповеднике за период 1991–2020 гг.

Название объекта, метеоявления	Фенологическое явление	N	Средняя дата	Ранняя дата	Поздняя дата	R^2	p
Начало фенологической зимы		30	18.11±16	21.10.1993	27.12.2015	0.22	0.24
Т (температура) среднесуточная ниже 0°C		30	18.11±16	21.10.1993	27.12.2015	0.22	0.24
Образование устойчивого снежного покрова		30	22.11±22	22.10.2017	21.01.2007	0.26	0.17
Т максимальная ниже 0°C		30	25.11±21	24.10.1992	23.01.2007	0.41	0.03
Окончательный ледостав на водоёме		30	27.11±24	29.10.1992	27.01.2007	0.41	0.03
Т среднесуточная ниже -5°C		27	16.12±24	09.11.1993	25.01.2005	0.29	0.15
Большой пёстрый дятел	Первая барабанная дробь	30	17.02±16	20.01.2017	20.03.2008	-0.37	0.09
Большая синица	Первая песня	30	17.02±13	28.01.2017	16.03.2005	-0.48	0.02
Т максимальная выше 0°C		30	1.03±15	27.01.2016	26.03.2013	0.00	0.98
Т среднесуточная выше -5°C		27	1.03±21	09.01.2002	27.03.2013	0.10	0.62
Глухарь	Начало токования	25	14.03±21	02.02.2007	20.04.2005	-0.69	0.001
Чибис	Весенний прилет, первая встреча	15	20.3±9	10.03.2014	05.04.2013	-0.14	0.61
Кольцевые проталины вокруг деревьев – первые		27	21.3±14	28.02.2014	14.04.2013	0.03	0.89
Проталины на открытых местах – первые		27	22.3±15	24.02.2014	13.04.2013	0.02	0.91
т.д.							

Примечание: N – объем выборки; R^2 – коэффициент детерминации (полуэллиптическое начертание при $p < 0.05$); p – уровень значимости.

Как видно из данных таблицы 4, тренды для некоторых явлений зимнего сезона в период 1991–2020 гг. являются достоверными ($p < 0.05$). Устойчивый переход максимальной

температуры ниже 0°C наступает позднее ($R^2 = 0.41$; $p = 0.03$). Окончательный ледостав на водоёме непосредственно коррелирует с температурой воздуха и также происходит позднее ($R^2=0.41$; $p = 0.03$). Напротив, брачная песня у осёдлых видов птиц отмечается раньше. Установлено смещение к более ранним срокам первой песни большой синицы ($R^2 = -0.48$; $p = 0.02$), начало токования глухаря ($R^2 = -0.69$; $p = 0.001$).

Часто требуется сравнить фенологическую дату или массив данных (Календарь природы) текущего или любого года со среднемноголетними значениями за весь период наблюдений или какой-то конкретный интервал времени. Для анализа и сравнения метеоданных и фенособытий разных категорий, которые отличаются дисперсиями и единицами измерения (градусы, мм, дни), используется нормированное отклонение n . Оно вычисляется как отношение разницы значения параметра текущего года и многолетней величины (M) к стандартному отклонению (σ). Использование нормированного показателя подходит как для многолетних рядов с нормальным распределением, так и другим типом распределения [10]. Эта безразмерная величина позволяет оценить событие как «типичное, норма или аномальное». В работе «Аномалии фенологической зимы...» [11] нами были выбраны следующие интервалы для оценки фенологической даты или параметра текущего года: «типичное, норма» ($|n| < 1.0$), «раннее, позднее» ($|n| \leq 2,5$), «аномальное» ($|n| > 2,5$). Знак «-» перед численным выражением нормированного отклонения говорит об опережающем характере наступления фенодаты, знак «+» – о задержке [11, 12]. По-видимому, более правильно в качестве оценки «аномального события» взять интервал ($|n| > 2,0$). Г.Э. Шульц [13] указывает, что «если не учитывать редко (не чаще 5 раз за 100 лет) наступающие крайние случаи, то амплитуда изменчивости равна $\pm 2\sigma$. До настоящего времени общепринятые критерии нормы и шкалы для разных фенологических объектов и периодов не разработаны [12].

Для использования нормированного отклонения в анализе фенологических данных необходимо для каждого временного ряда рассчитать среднюю многолетнюю величину и стандартное отклонение. Стандартные отклонения округляем до целых значений. Вот так выглядит анализ данных для Календаря природы с использованием нормированного отклонения (табл. 5).

Таблица 5.

Использование нормированного отклонения в анализе фенологических явлений (на примере Воронежского заповедника).

Основные сезонные процессы	Дата 2021 г. (А)	Ср. многолетняя $M \pm \sigma$ (М)	А-М (дни)	(А-М)/ σ n
Переход суточной $t > 0^\circ\text{C}$	14.03	23.03 ± 12	-9	-0,75
Начало подъема воды на р. Усмань	25.03	25.03 ± 10	0	0
Первая встреча журавлей	16.03	25.03 ± 7	-9	-1,3
Первая песня зяблика	22.03	25.03 ± 7	-3	-0,4
Прилет белой трясогузки	30.03	27.03 ± 6	3	0,5
Первая встреча канюка	5.03	27.03 ± 16	-22	-1,4
Вскрытие реки Усмань	10.04	30.03 ± 9	11	1,2
Появление бабочек-крапивниц	26.03	31.03 ± 10	-5	-0,5
Пик половодья	13.04	1.04 ± 9	12	1,3
Полный сход снега в лесу	5.04	3.04 ± 12	2	0,2
Очистка реки ото льда	13.04	7.04 ± 10	6	0,6
Первая встреча коршуна	6.04	7.04 ± 5	-1	-0,2
Начало цветения лещины	2.04	8.04 ± 10	-6	-0,6

Для приведенных в таблице 5 сезонных процессов видно, что нормированные отклонения чаще принимают значения ниже 1 по абсолютной величине. Это означает, что указанные фенологические события в 2021 г. наступили в границах статистической нормы (СН). Такие сезонные процессы как «вскрытие реки» и «пик половодья» наступили позже СН, так как нормированные отклонения больше 1 и имеют знак «+». Первая встреча канюка

и журавля отмечены раньше СН, потому что нормированные отклонения имеют знак «-» и по абсолютной величине больше 1. Если ни одно событие не имеет значение n больше 2 по модулю, то аномальных событий в году не отмечено. По аналогии дается характеристика всему фенологическому году.

При сопоставлении некоторых данных между разными заповедниками есть две проблемы. Во-первых, границы фенологических сезонов в разных ООПТ определяются по разным температурным критериям [9, 11, 14, 15]. Вторая проблема в том, что на ООПТ устойчивые переходы через определенные термические рубежи (0, ± 3 , ± 5 , ± 8 , ± 10 , $\pm 15^\circ\text{C}$) рассчитываются не единообразно, по разным методикам. Например, датой устойчивого перехода через пороговое значение (T_0) считается первый день (после 1 марта), начиная с которого в течение не менее 5 дней подряд сумма накопленных положительных отклонений среднесуточной температуры выше суммы отрицательных. Или такой вариант: T_0 – первый день, начиная с которого накопленная сумма градусо-дней остается положительной в течение не менее 5 дней подряд.

В статье «Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России» [9], температурные критерии границ фенологических этапов опираются на ход средней суточной температуры и экстремальной (минимальной и максимальной). Правило расчета устойчивого перехода принято по Руководящему документу Росгидромета [16] и заключается в следующем. Дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C , 3°C , 5°C , 8°C , 10°C , 15°C и др. рубежи в сторону повышения (в первом полугодии) – первый день периода, сумма положительных отклонений которого (от соответствующего предела) превышает сумму отрицательных отклонений любого из последующих периодов с отрицательными отклонениями. Дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через определённый предел в сторону понижения (во втором полугодии) – первый день периода, сумма отрицательных отклонений которого превышает сумму положительных отклонений любого из последующих периодов с положительными отклонениями.

Данное правило применяется также при расчетах дат устойчивых переходов экстремальных (максимальной и минимальной) температур воздуха.

Единый подход к расчетам поможет проводить корректные сравнения одних и тех же процессов на разных территориях, даст возможность выявить зависимость биологических явлений от термических рубежей. В таблицах 6–8 показана техника вычислений термических рубежей.

Таблица 6.

Техника вычислений термических рубежей на примере весеннего сезона – переход среднесуточной t через 0°C в сторону повышения.

Дата	Температура, °C	Отклонение	Сумма отклонений	В данном примере сумма положительных отклонений +12.2°C с 01 по 05.04 не превысила сумму отрицательных отклонений -13.3°C за период с 10.04 по 12.04, а с 13.04 Т сут не опускалась ниже 0°C. Следовательно, переход через 0°C произошел 13 апреля.
1.04	+3.3	+3.3	+12.2	
2.04	+4.5	+4.5		
3.04	+2.6	+2.6		
4.04	0.0	0.0		
5.04	+1.8	+1.8	-1.3	
6.04	-1.3	-1.3		
7.04	+1.8	+1.8	+4.4	
8.04	+1.2	+1.2		
9.04	+1.4	+1.4		
10.04	-4.5	-4.5	-13.3	
11.04	-7.7	-7.7		
12.04	-1.1	-1.1		
13.04	+2.5	+2.5		
...	Все последующие дни имели положительную среднесуточную температуру			

Таблица 7.

Техника вычислений термических рубежей на примере осеннего сезона – переход минимальной температуры (Т мин) через 10°C в сторону понижения.

минимальной температуры (Т мин) через 10 °С в сторону понижения.				
Дата	Температура, °С	Отклонение	Сумма отклонений	Сумма отрицательных отклонений с 02 по 07 сентября (-13.8°С) не превысила сумму положительных отклонений периода с 08.09 по 13.09 (+29.4°С), а с 14.09 Т мин не превышала 10°С. Следовательно, датой устойчивого перехода Т мин воздуха через 10°С в сторону понижения является 14 сентября.
До 02.09.2021 температура выше 14°С			-13.8	
01.09.2021	14.4	+4.4		
02.09.2021	9.4	-0.6		
03.09.2021	7.7	-2.3		
04.09.2021	6.8	-3.2		
05.09.2021	6.5	-3.5		
06.09.2021	6.5	-3.5		
07.09.2021	9.3	-0.7	+29,4	
08.09.2021	12.4	+2.4		
09.09.2021	14.7	+4.7		
10.09.2021	16.1	+6.1		
11.09.2021	15.2	+5.2		
12.09.2021	16.1	+6.1		
13.09.2021	14.9	+4.9		
14.09.2021	9.3	-0.7		
...	Все последующие дни Т мин ниже 10°С			

На примере таблицы 8 показано, как может расходиться результат расчета дат перехода температуры при использовании разных методик.

Таблица 8.

Определение даты температурного перехода через 10°C весной. Пример взят из Руководящего документа РД 52.33.725-2010 [16].

Период		Сумма отклонений, °C	
начало	конец	положительных	отрицательных
17.04 (сут. t выше 10°C)	30.04	5.3	-
1.05 (сут. t ниже 10°C)	2.05	-	3.8
3.05 (сут. t выше 10°C)	5.05	8.3	-
6.05 (сут. t ниже 10°C)	13.05	-	26.7
14.05 (сут. t выше 10°C)	16.05	8.6	-
17.05 (сут. t ниже 10°C)	17.05	-	1.1
18.05 (сут. t выше 10°C)	31.05	61.1	-
1.06 (сут. t ниже 10°C)	2.06	-	3.7
3.06 (сут. t выше 10°C)	11.06	37.0	-
12.06 (сут. t ниже 10°C)	15.06	-	3.4-
16.06	-	-	

Дата устойчивого перехода температуры через 10°C весной будет 14 мая, т.к. сумма положительных отклонений этого периода (8.6°C) превышает любую из сумм отрицательных отклонений каждого из последующих периодов (1.1°C; 3.7°C; 3.4°C). Как видно, с 14 по 16 мая всего 3 дня (а не 5, как предлагается в другом варианте вычисления переходов). Самое последнее значение температуры ниже 10°C отмечается 15 июня. И если следовать, например, инструкции для Добровольной фенологической сети России, то датой устойчивого перехода следовало бы принять 16 июня, что привело бы к искажению в целый месяц.

Иногда бывают случаи, когда отклонения «+» и «-» равны или мало отличаются. Из-за этого возникает трудность с выбором даты рубежа. В таком случае нужно ориентироваться на индикационные фенологические явления исследуемой территории. Например, начало сокодвижения у берёзы повислой является индикатором начала весны в Центрально-Лесном заповеднике (Тверская область). Фаза начала цветения черёмухи обыкновенной – индикатор

субсезона «разгара весны», рябины обыкновенной – граница перехода к «предлетью», липы мелколистной – начало субсезона «полное лето».

Заключение. Приведенные примеры обработки многолетних фенологических данных – простой способ математического анализа информации, накопленной в течение многих лет в российских заповедниках. Надо пользоваться этим материалом для оценки текущего состояния погоды и прогноза на будущее. Данная экспресс-оценка не отвечает на многие вопросы (Почему? С чем связано? Что будет?), но позволяет понять, меняется ли и как климат в регионе, и как на эти изменения реагирует природа заповедной территории.

Очевидным остается необходимость продолжать вести фенологические наблюдения в заповедниках и национальных парках России, совершенствовать методику обучения новых сотрудников, регулярно проводить коллективные полевые исследования, фенологические школы, обучаться современным методам анализа полученных данных.

Список литературы

1. Минин А.А., Прокошева И.В., Сапельникова И.И., Шуйская Е.А. 2018. Состояние фенологических наблюдений и исследований в России // *Летопись природы России: фенология. Материалы I Международной фенологической школы-семинара в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике 13-17 августа 2018 г. Великие Луки: ООО «Великолукская типография».* С. 8–17.
2. Курхинен Ю.П., Большаков В.Н., Дельгадо М., Оваскайнен О., Прохоров И.С. 2020. Проект «Летопись Природы Евразии»: опыт исследований отклика биоты на изменение климата // *Летопись природы: фенология, отклики биоты на изменение климата: Материалы II Международной научной конференции в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике 10-14 августа 2020 г. М.: Товарищество научных изданий КМК.* С. 168–175.
3. Ovaskainen O., Skorokhodova S., Yakovleva M., Sukhov A., Kutenkov A., Kutenkova N., Shcherbakov A., Meyke E., and Delgado Maria Del Mar. 2013. Community-level phenological response to climate change // *Proceedings of the National Academy of Sciences J. Vol. 110(33).* P. 13434 – 13439. DOI: 10.1073/pnas.1305533110
4. Ovaskainen O., Meyke E., Lo C. et al. 2020. Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology // *Scientific Data.* Vol. 7(1). Article 47. DOI: 10.1038/s41597-020-0376-z
5. Delgado M., Roslin T., Tikhonov G., Meyke E., Lo C. et al. 2020. Differences in spatial versus temporal reaction norms for spring and autumn phenological events // *PNAS.* www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2002713117
6. Roslin T., Antão L., Hällfors M., Meyke E., Lo C. et al. 2021. Phenological shifts of abiotic events, producers and consumers across a continent // *Nature.* <https://doi.org/10.5281/zenodo.3774386>.
7. Mitchell J.M. 1963. On the world-wide pattern of secular temperature change. Changes of climate. Proceedings of the. Rome Symposium. UNESCO.
8. Кожаринов А.В., Минин А.А. 2001. Современные тенденции в состоянии природы Русской равнины // *Влияние изменений климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних изменений. М., Всемирный фонд дикой природы, Российское представительство, ч. 1.* С. 17–23.
9. Минин А.А., Ананин А.А., Буйволов Ю.А., Ларин Е.Г., Лебедев П.А., Поликарпова Н.В., Прокошева И.В., Руденко М.И., Сапельникова И.И., Федотова В.Г., Шуйская Е.А., Яковлева М.В., Янцер О.В. 2020. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // *Nature Conservation Research. Заповедная наука. Т. 5. № 4.* С. 89–110. <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2020.060>
10. Зайцев Г.Н. 1984. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., Наука. 424 с.

11. Сапельникова И.И., Прокошева И.В., Шуйская Е.А., Аблеева В.А., Зануздаева Н.В., Каримова М.Е., Соколова Г.В., Федченко И.А., Целищева Л.Г. Аномалии фенологической зимы 2019-2020 гг. на Европейской территории России // *Летопись природы: фенология, отклики биоты на изменение климата: Материалы II Международной научной конференции в Центральном Лесном государственном природном биосферном заповеднике 10-14 августа 2020 г.* Москва: Товарищество научных изданий КМК. 2020. С. 28–45.
12. Сапельникова И.И. 2022. Феноклиматическая характеристика 2021 года в Воронежском заповеднике. *Полевой журнал биолога*, 4(2): С. 119–136. DOI: 10.52575/2712-9047-2022-4-2-119-136.
13. Шульц Г.Э. 1981. *Общая фенология*. Л., Наука, 188 с.
14. Филонов К.П., Нухимовская Ю.Д. 1990. *Летопись природы в заповедниках СССР*. М.: Наука. 160 с.
15. Буторина Т.Н. 1979. *Биоклиматическое районирование Красноярского края*. Новосибирск: Наука. 230 с.
16. Руководящий документ РД 52.33.725-2010. 2010. Методические указания по составлению агрометеорологического ежегодника для земледельческой зоны Российской Федерации. Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 142 с.

© Сапельникова И. И., Шуйская Е.А., Прокошева И.В., 2022

Скок Наталия Васильевна

кандидат географических наук, доцент, Уральский государственный педагогический университет;

620017, Россия, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26; e-mail: skok-nv-gbf@mail.ru

Иванова Юлия Руслановна

ассистент, Уральский государственный педагогический университет;

620017, Россия, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26; e-mail: miss.nocentra@list.ru

Юровских Анастасия Михайловна

ассистент, Уральский государственный педагогический университет;

620017, Россия, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26; e-mail: an.m.evd@mail.ru

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА ЗЕЛЕНЕНИЕ ЛИСТВЫ БЕРЕЗЫ
В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА НИЖНИЙ ТАГИЛ**

АННОТАЦИЯ. В статье представлен анализ наблюдений за зелением листвы березы в горной полосе Среднего Урала и влияния на него термических факторов весеннего периода в 2011-2020 годах. Наблюдения проводились интегральным описательным методом, с помощью которого были рассчитаны экономалии зеления березы. Изучение взаимосвязи термических показателей с фитофенологическими процессами позволило предположить, что ранний переход среднесуточных температур приземного слоя воздуха приводит к возвратным заморозкам и снижению средней температуры весеннего периода, что, в свою очередь, влечет за собой запаздывание в сроках разворачивания листвы березы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фенология, береза, Средний Урал, термический режим, экономалия.

Skok Nataliya Vasilyevna,

Candidate of Geography, Associate Professor, Ural State Pedagogical University; Yekaterinburg, Russia

Ivanova Uliya Ruslanovna,

Assistant, Ural State Pedagogical University; Yekaterinburg, Russia

Yurovskikh Anastasiya Mikhailovna

Assistant, Ural State Pedagogical University; Yekaterinburg, Russia

**INFLUENCE OF THERMAL REGIME ON THE GREENING OF BIRCH LEAVES IN THE
SURROUNDINGS OF THE CITY OF NIZHNY TAGIL**

ANNOTATION. The article presents an analysis of observations of the greening of birch foliage in the Middle Urals and the influence of thermal factors on it during the spring period in 2011-2020. The observations were carried out by an integral descriptive method, with the help of which we calculated the ecoanomalies of birch greening. The study of the relationship between thermal indicators and phytophenological processes suggested that the early transition of the average daily temperatures of the surface air layer leads to return frosts and a decrease in the average temperature of the spring period, which, in turn, entails a delay in the timing of birch foliage unfolding.

KEYWORDS. phenology, birch, Middle Urals, thermal regime, ecoanomaly.

Многие авторы отмечают, что фенологические явления в некоторой степени коррелируют с различными метеорологическими показателями [1-9, 11]. Максимальная корреляционная связь, по данным Т.И. Буториной, достигается в весенний период [2]. Сильнее всего на фитофенологические явления влияет температурный фактор, однако межгодовая изменчивость температур выражена более явно, чем фитофенологических явлений [2, 3, 5, 7]. Характерной особенностью сезонной динамики растительности, в

отличие от температурных показателей, является возможность последних вернуться к пройденным значениям, в то время как фенологические явления под их воздействием только замедлятся.

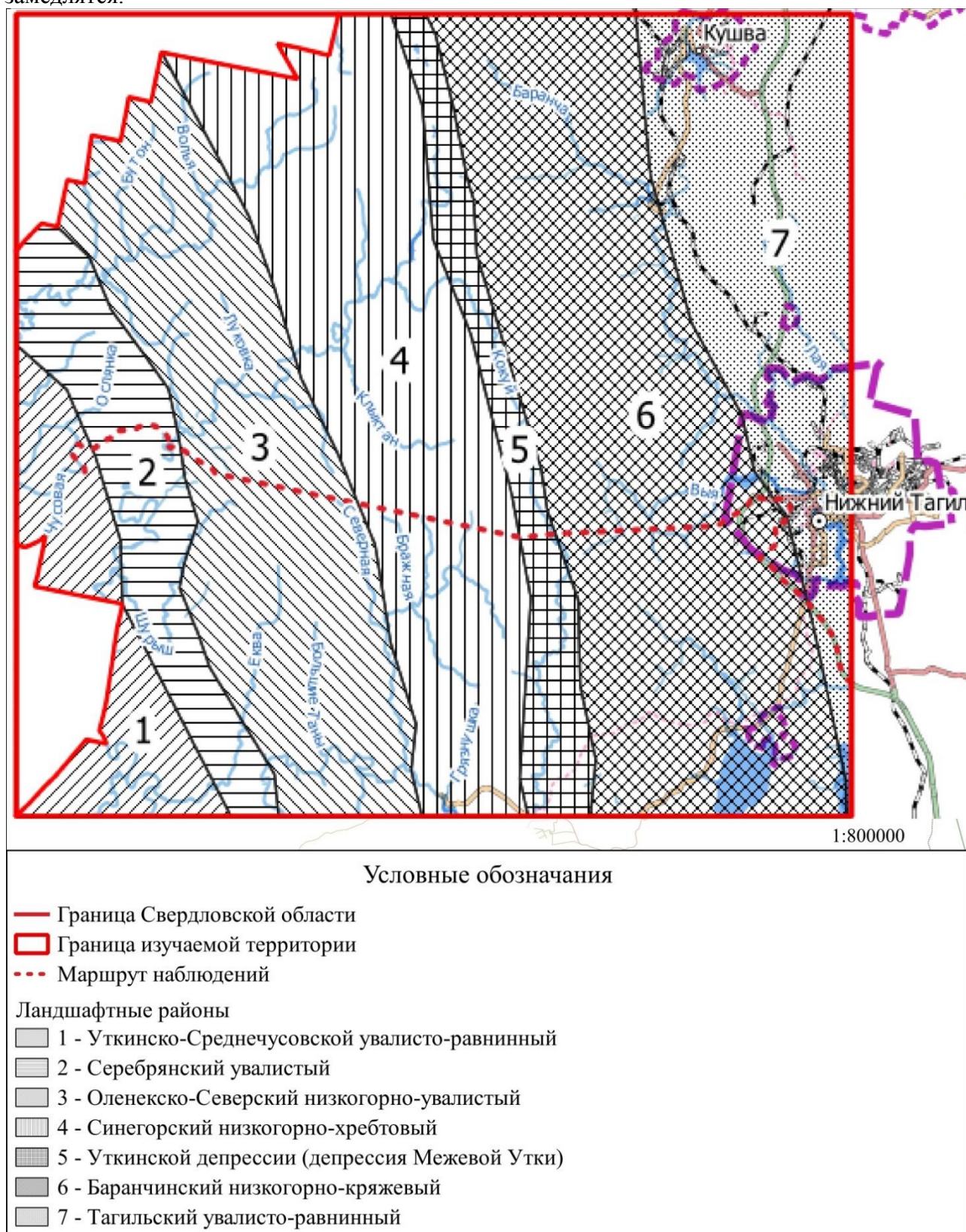


Рисунок 1. Нитка маршрута наблюдения за зеленением березы

Наблюдения за зеленением березы интегральным описательным методом в центральной части низкогорий Среднего Урала проводились по Серебрянскому тракту от

окрестностей деревни Верхняя Осянка до окраины г. Нижний Тагил. Маршрут протяженностью 77 км проложен через горную полосу с запада на восток, располагается в пределах Новоземельско-Уральской равнинно-горной страны (рис. 1). По шкале глазомерной оценки процесс зеленения оценивался при помощи интегрального описательного метода [10] ежегодно у более чем четырех тысяч отдельных деревьев *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh. Просмотр отдельных учетных единиц производился по линии маршрута подряд, за исключением старых, молодых и поврежденных особей.

Поскольку за 10 лет наблюдений был накоплен большой массив первичных данных, для дальнейшего их анализа целесообразно представить математически обработанные данные в виде экономалий зеленения березы (Табл. 1). Для анализа различий была выбрана третья межа «Дерево с развернувшейся листвой, образующей сомкнутую ярко-зеленую крону (листовая пластинка больше половины взрослого листа)».

Таблица 1.

Экономалии зеленения березы в 2011-2020 годах*

Дата наблюдения	Номер ландшафтного района							Средняя экономалия
	1	2	3	4	5	6	7	
2011 / 26 V	-6,8	-2,3	+1,5	+3,4	+6,1	+1,1	-2,9	+0,0
2012 / 17 V	-8,6	-5,5	-1,2	-0,1	+2,3	-1,5	-1,3	-2,3
2013 / 28 V	-3,7	-3,5	+1,3	+0,7	+6,0	+0,5	-1,7	-0,1
2014 / 18 V	-4,3	-2,5	+1,1	+1,2	+4,0	+0,3	-1,9	-0,3
2015 / 27 V	-0,3	+1,9	+2,6	-0,5	+3,1	+1,0	-0,4	+1,1
2016 / 23 V	-4,1	-2,2	+0,9	+1,1	+4,4	+0,3	-1,8	-0,2
2017 / 26 V	-4,2	-2,5	+1,0	+0,8	+4,4	+0,1	-1,5	-0,3
2018 / 02 VI	-8,8	+3,5	+5,1	+2,2	-1,7	-5,2	-2,8	-1,1
2019 / 19 V	-9,3	+2,5	+4,8	+0,8	-2,1	-2,8	-4,5	-1,5
2020 / 23 V	-2,4	+2,1	+1,0	+0,1	-1,0	+0,5	+0,5	+0,1
Средняя	-5,3	-0,9	+1,8	+1,0	+2,6	-0,6	-1,8	

*В таблице полужирным шрифтом выделены экстремальные значения.

Зеленение березы в горной полосе в целом наступает позже, чем в восточных и, особенно, в западных предгорьях. Наибольшее опережение отмечается в крайнем западном Уткинско-Среднечусовском увалисто-равнинном районе. Причиной раннего зеленения листвы березы восточного склона Урала является учащающийся в мае вынос теплых воздушных масс из Казахстана. Запаздывание нарастает при продвижении вглубь низкогорной полосы – в Оленекско-Северском низкогорно-увалистом и Синегорском низкогорно-хребтовом районах. В межгорной депрессии, занятой долиной реки Межевая Утка, отмечается наибольшее запаздывание в зеленении листвы березы, что связано с температурными инверсиями, которые характерны для слабопрветриваемых межгорных понижений.

Таблица 2.

Сводная таблица фенологических и агроклиматических данных в 2011-2020 годах*

Год / дата исследования	Дата перехода через 0°C	Σ температур, °C	Средняя температура, °C
2011 / 26 V	04 IV	414,8	+8,0
2012 / 17 V	07 IV	361,4	+9,0
2013 / 28 V	16 IV	332,1	+7,9
2014 / 18 V	12 IV	290,8	+8,1
2015 / 27 V	01 IV	391,0	+7,0
2016 / 23 V	25 III	377,3	+6,4
2017 / 26 V	06 IV	314,9	+6,3
2018 / 02 VI	03 IV	308,1	+5,1
2019 / 19 V	19 IV	244,7	+8,12
2020 / 23 V	25 III	536,1	+9,1
24 V	05 IV	357,1	+7,5

*В таблице полужирным шрифтом выделены экстремальные значения.

Как факторы влияния на процесс зеленения листвы березы и межгодовые различия в его наступлении изучались даты устойчивого перехода среднесуточных температур приземного слоя воздуха к положительным значениям, сумма накопленных положительных температур с этой даты до даты проведения полевых наблюдений и средняя температура данного периода (Табл. 2). Метеорологические данные рассчитывались на основе срочных наблюдений ближайшей к линии профиля метеостанции г. Нижнего Тагила, имеющей координаты 57°53' с.ш. 60°04' в.д., абсолютную высоту 258 м.

Наблюдения за зеленением листвы березы проводились, в основном, 17-28 мая, но в 2018 году, в связи с холодной затяжной весной, вегетативные процессы в горной полосе Среднего Урала сместились на начало июня. В последнее десятилетие среднесуточная температура воздуха переходит к положительным значениям в среднем 5 апреля. Дважды за 10 лет этот переход отмечался 25 марта – в 2016 и 2020 годах. В 2019 году устойчивый переход произошел позднее – 19 апреля. От даты перехода температур к положительным значениям до даты наблюдений проходит в среднем 48 дней, за которые накапливается $\approx 357^{\circ}\text{C}$, а средняя температура периода составляет $7,5^{\circ}\text{C}$. В 2014 и 2019 годах переход через 0°C происходил на 7 и 14 дней позже среднего и тогда накопилось минимальное количество тепла: $290,8^{\circ}\text{C}$ и $244,7^{\circ}\text{C}$ соответственно. Однако и средняя температура периода в эти годы была выше среднего – $8,07^{\circ}\text{C}$ и $8,15^{\circ}\text{C}$. Максимальная средняя температура воздуха за период от даты перехода среднесуточной температуры воздуха к положительным значениям $+9,0^{\circ}\text{C}$ и $+9,1^{\circ}\text{C}$ зарегистрирована в 2012 и 2020 годах соответственно. Однако продолжительность этих периодов была кардинально разной – 40 и 59 дней. В 2012 году отмечено и максимальное опережение в зеленении листвы березы, что, вероятно, связано с приходом волны тепла. Значительное опережение наблюдалось и в 2019 году, когда, несмотря на поздний переход через 0°C и невысокую сумму положительных температур, средняя температура периода оказалась достаточно высокой $+8,2^{\circ}\text{C}$. Наибольшее запаздывание в разворачивании листвы отмечено в 2015 году. Несмотря на ранний переход температур к положительным значениям – 01 апреля – средняя температура была достаточно низкой – всего $+7,0^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, можно отметить следующую тенденцию: в годы, когда устойчивый переход среднесуточных температур приземного слоя воздуха к положительным значениям происходит рано, весна оказывается затяжной, а сроки наступления вегетативных процессов у березы либо соответствуют средним многолетним, либо и вовсе запаздывают. За изучаемые 10 лет во все годы, когда этот переход происходил позднее среднего, значение средней температуры периода было выше и сроки зеленения листвы березы опережали многолетние значения.

Список литературы

1. Булыгин Н.Е. Влияние отдельных факторов погоды на сезонное развитие древесных растений Л.: гидрометеорологическое изд., 1977. 66–67 с.
2. Буторина Т.Н., Крутовская Е.А. О корреляции некоторых феноиндикаторов с температурой // Труды государственного заповедника «Столбы». 1958. № II. С. 70–101.
3. Гурьевских, О.Ю., Иванова, Ю.Р., Скок, Н.В., Юровских, А.М., Янцер, О.В. Влияние климатических изменений на сезонную динамику ландшафтов Урала / под редакцией О. В. Янцер ; Екатеринбург : Раритет, 2021. – 146 с.
4. Давитая Ф.Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы / Ф.Ф. Давитая, М.: Гидрометеиздат, 1964. 131 с.
5. Лынов Ю.С. Фенологическая индикация климата (на примере Западного Тянь-Шаня) // География и природные ресурсы. 1988. (2). С. 90–98.
6. Минин А.А. Деревья и птицы об изменениях климата // Химия и жизнь. 2002. (№ 2). С. 38–42.
7. Минин А.А. Фенология Русской равнины: материалы и обобщения / А.А. Минин, Москва: изд. АБФ/АБФ, 2000. 160 с.

8. Минин А.А., Воскова А.В. Гомеостатические реакции деревьев на современные изменения климата: пространственно-фенологические аспекты // Онтогенез. 2014. № 3 (45). С. 162–169.
9. Рудский В.Г. Влияние климатических и погодных факторов на развитие растений на территории Томской области на примере герани лесной // Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока. 1975. (2). С. 50–58.
10. Скок Н.В., Янцер О.В., Иванова Ю.Р. Использование количественных фенологических методов для характеристики горной полосы Среднего Урала // Вестник российских университетов. Математика. 2014. №19 (5). С. 1596-1572.
11. Цельникер Ю.Л. Влияние температуры на сроки распускания и скорость роста листа у лиственных деревьев // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 1996. С. 164–176.

© Скок Н.В., Иванова Ю.Р., Юровских А.М., 2022

УДК

Скок Наталия Васильевна

кандидат географических наук, доцент, Уральский государственный педагогический университет;

620017, Россия, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26; e-mail: skok-nv-gbf@mail.ru

Иванова Юлия Руслановна

ассистент, Уральский государственный педагогический университет;

620017, Россия, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26; e-mail: miss.nocentra@list.ru

Юровских Анастасия Михайловна

ассистент, Уральский государственный педагогический университет;

620017, Россия, г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26; e-mail: an.m.evd@mail.ru

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрена возможность применения показателя флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой в г. Екатеринбурге для оценки качества окружающей среды разных районов. Проанализированы показатели стабильности развития березы за 2021 г. и произведено их сравнение с данными за 2020 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Флуктуирующая асимметрия, береза повислая, Екатеринбург, оценка качества среды

Skok Nataliya Vasilyevna,

Candidate of Geography, Associate Professor, Ural State Pedagogical University; Yekaterinburg, Russia

Ivanova Uliya Ruslanovna,

Assistant, Ural State Pedagogical University; Yekaterinburg, Russia

Yurovskikh Anastasiya Mikhailovna

Assistant, Ural State Pedagogical University; Yekaterinburg, Russia

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL QUALITY OF YEKATERINBURG BASED ON THE RESULTS OF THE ASYMMETRY OF THE LEAVES OF THE HANGING BIRCH

ANNOTATION. The article considers the possibility of using the indicator of fluctuating asymmetry of hanging birch leaves in Yekaterinburg to assess the quality of the environment in different areas. The indicators of the stability of birch development for 2021 are analyzed and compared with the data for 2020.

KEYWORDS. Fluctuating asymmetry, hanging birch, Yekaterinburg, environmental quality assessment

Оценка качества окружающей среды в больших городах является важной задачей. Растения реагируют на изменение окружающих экологических условий и адаптируются путем изменения морфологических, анатомических или физиолого-биохимических характеристик [4]. Интегральная оценка морфологических изменений может осуществляться при помощи метода флуктуирующей асимметрии листа растения. Районы г. Екатеринбурга подвергаются разной антропогенной нагрузке, в результате чего зеленые насаждения городской среды находятся под влиянием разных негативных факторов.

В качестве объекта исследования была выбрана береза повислая (*Betula pendula* Roth.). Изучение качества окружающей среды г. Екатеринбурга производилось путем рассмотрения морфологической изменчивости листа березы методом флуктуирующей асимметрии.

Исследованиями флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой на примере

Калужской, Воронежской и Самарской областей занимались Захаров В.М., Чистякова Е.К., Кряжева Н.Г., Шестакова Г.А., Мокров И.В., Гелашвили Д.Б., Стрельцов А.Б. и др. [3, 6]. Исследования данных авторов легли в основу «Методических рекомендаций по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ», утвержденных распоряжением №460-рр Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 16.10.2003 г. Влияние промышленности и изменяющихся природно-климатических факторов наиболее изучено на примере г. Нижний Тагил, где в качестве объектов изучения были выбраны береза повислая и одуванчик лекарственный [1, 2].

Екатеринбург является крупным промышленным центром с динамично развивающимися жилыми районами. На территории города расположен ряд металлургических и машиностроительных заводов. С конца 90-х годов начинается структурно-организационная перестройка крупных производств, находящихся на территории Екатеринбурга. Вынос различных производств за пределы города сопровождается строительством новых жилых комплексов и офисных зданий на освободившихся территориях. Таким образом, уменьшение влияния промышленных предприятий на окружающую среду сменилось увеличением антропогенной нагрузки, в результате плотной высотной застройки, увеличения количества автомобилей и грузопотока.

Методика изучения степени флуктуирующей асимметрии листа березы повислой базируется на анализе 5 параметров каждой из двух половин листа. Для удобства работы собранные листья сканируются, и обработка данных производится уже с копий изображений. Снимаемые промеры: ширина половинки на середине листа, длина второй жилки второго порядка от основания листа, расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка, расстояние между концами этих же жилок, угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка. После проведения всех промеров вычисляется относительная асимметрия – разница в измерениях левой и правой половины листа, отнесенное к сумме промеров на двух сторонах. Параметр асимметрии для каждого листа рассчитывается как среднее арифметическое всех относительных величин асимметрии листа. Интегральный показатель стабильности развития вычисляется через сумму параметров асимметрии для каждого листа в выборке, деленную на суммарное количество единиц. Полученная величина оценивается по пятибалльной шкале отклонений состояния от условной нормы для березы повислой (табл. 1)

Таблица 1.

Шкала отклонений от стабильности развития березы повислой [5]

Балл стабильности развития	Значение показателя стабильности развития	Оценка уровня стабильности развития
I	<0,040	Условная норма
II	0,040-0,044	Слабое отклонение от стабильного развития
III	0,045-0,049	Нарушение стабильности развития
IV	0,050-0,054	Отклонение от стабильности развития
V	>0.054	Высокое отклонение от стабильности развития

На территории г. Екатеринбурга была выбрана 31 площадка, на каждой из которых в начале сентября 2021 г. с 5 средневозрастных деревьев березы повислой было отобрано суммарно по 50 листьев (рис. 1). Площадки располагаются в большей части микрорайонов города. Оценка условий стабильности развития производилась в соответствии с «Методическими рекомендациями по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ».

Значение показателя флуктуирующей асимметрии на территории г. Екатеринбурга варьируется от 0,025 до 0,089. Большая часть площадок наблюдения в городе относится к V категории стабильности развития. Условная норма уровня стабильности развития (I)

отмечается в лесных массивах Варнацкого края - 0,025, северо-западной части Шарташского лесного парка – 0,031, а также в «Радуга-парке» - 0,034. Низкий показатель Варнацкого края связан с тем, что участок расположен в лесном массиве в западной части города и удален промышленных сооружений. «Радуга-парк» находится в юго-восточной части города, значение флуктуирующей асимметрии также невысокое, что связано с расположением на окраине города, преобладание в теплый период года западных и северо-западных ветров минимизирует влияние находящегося севернее металлургического предприятия на район. В северо-западной части Шарташского лесного парка было выбрано две площадки – одна в лесном массиве, другая – на берегу озера. Показатель на берегу составил – 0,047, что соответствует нарушению стабильности развития (III). Разница в 0,016 между точками обусловлена тем, что в донных отложениях оз. Шарташ содержится большое количество тяжелых металлов, что негативно отражается на стабильности развития прибрежной растительности.

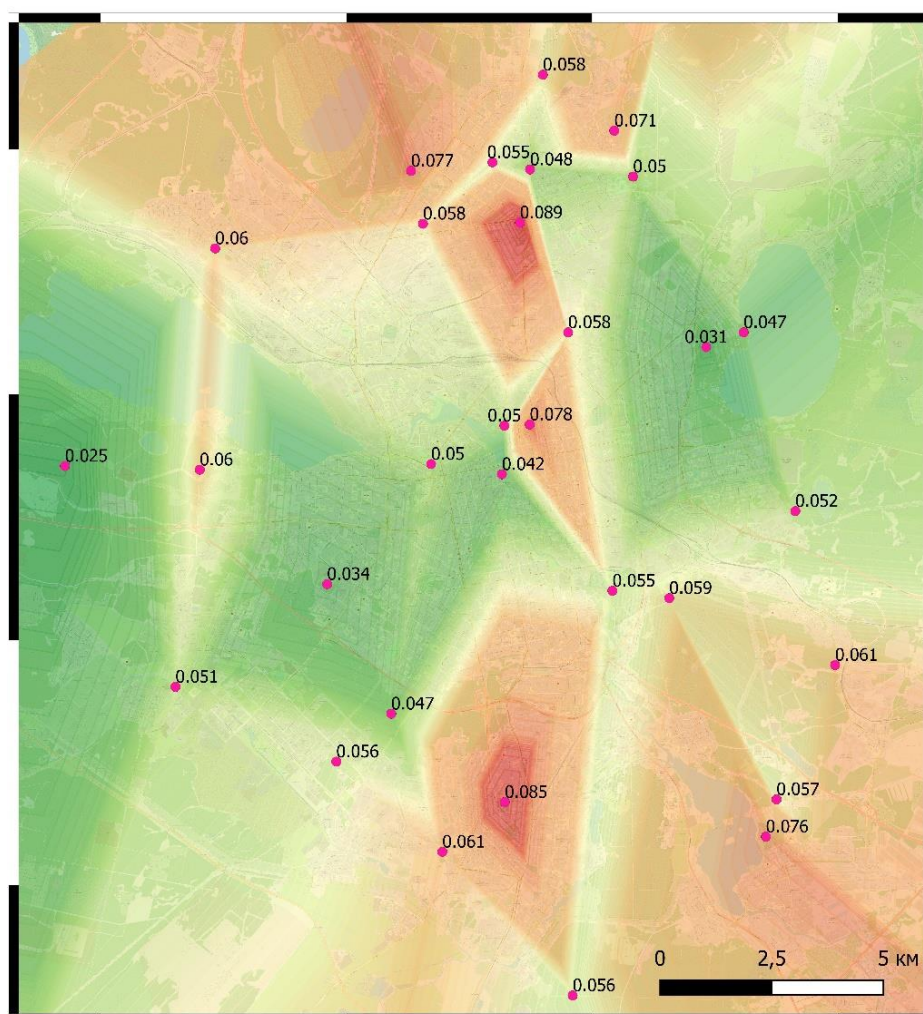


Рис. 1. Карта значений показателя стабильности развития березы повислой в г. Екатеринбурге

Северная часть г. Екатеринбурга – районы Сортировка, Уралмаш, Эльмаш, Пионерский – характеризуются высоким уровнем отклонения от стабильности развития. Здесь показатель стабильности развития колеблется от 0,048 до 0,089 – при движении с запада на восток к центральной части территории он увеличивается и, далее, к западу уменьшается. Такие показатели связаны с большим количеством промышленных предприятий в данной части города, выбросы которых под влиянием западных и северо-западных ветров в теплый период года сказываются на окружающей среде. Кроме этого, через центральную часть здесь проходит проспект Космонавтов – большая автомагистраль с высоким трафиком, в результате чего в атмосферу попадает большое количество выхлопных газов.

В центральной части г. Екатеринбурга уровень стабильности развития оценивается по II-V баллам (0,042 – 0,078). Слабые отклонения в развитии отмечены у площадки на Плотинке. Однако при отдалении от нее в любую сторону показатель стабильности развития увеличивается. Центральная часть города характеризуется большим транспортным потоком, что влияет на загазованность окружающей среды.

Академический район расположен в юго-западной части города и является самым динамично развивающимся. Рост населения и жилых многоэтажных домов и создает определенную экологическую нагрузку не только на данную территорию, но и на соседний район - Мичуринский. Высокие показатели уровня стабильности развития 0,051 и 0,056 указывают на большое влияние автотранспорта, так как иные виды – трамваи, троллейбусы и метро – отсутствуют, а близлежащих промышленных предприятий нет. При этом, расположенный рядом Юго-западный лесной парк, характеризуется менее критическим показателем 0,047 (III) – нарушения уровня стабильности развития.

В южной части г. Екатеринбурга – Вторчермет, Елизавет, Керамик – отмечается высокое отклонение от стабильности развития – 0,056-0,085. Самый высокий показатель наблюдается в парке Камвольного комбината вблизи промышленной зоны, где расположены предприятия металлургической промышленности.

Показатели стабильности развития в юго-восточной и восточной частях города относятся к IV-V баллам – высокое отклонение, и изменяются в пределах 0,052-0,076. При этом наименьшие индексы отмечаются в лесных массивах парков – ЦПКиО им. В.В. Маяковского, Лесоводов России, а также в районе оз. Малый Шарташ и Нижне-Исетского пруда. Средний индекс стабильности развития по г. Екатеринбургу составляет 0,057, что относится к V категории – высокое отклонение.

Таблица 2.

Показатели стабильности развития березы повислой в г. Екатеринбурге за 2020-2021 г.

Площадка	Показатель стабильности развития	
	2020	2021
Парк Победы	0,069	0,077
Медгородок ЦГБ №14	0,037	0,058
Перекресток ул. Машиностроителей и пр. Космонавтов	0,089	0,089
Калиновский лесной парк	0,031	0,050
Академический район	0,049	0,056
Юго-западный лесной парк	0,055	0,047
Северо-западная часть Шарташского лесного парка	0,057	0,047
Оз. Малый Шарташ	0,058	0,052

Для сравнения динамики ситуации в 2020 году были выбраны несколько пилотных точек (табл. 2). В четырех из восьми площадок – Парк Победы, Медгородок ЦГБ №14, Калиновский лесной парк, Академический район – ситуация ухудшилась, что связано с увеличением нагрузки на эти районы – интенсивная застройка, увеличение потока автомобилей. На территориях Юго-западного и Шарташского лесных парков, а также в районе оз. Малый Шарташ индексы незначительно улучшились.

Список литературы

1. Жуйкова Т.В., Попова А.С., Мелинг Э.В. Морфологическая изменчивость листьев *Betula pendula* Roth в условиях техногенной трансформации окружающей среды // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10. № 1. С. 65–74.
2. Жуйкова, Татьяна Валерьевна. Реакция ценопопуляций и травянистых сообществ на химическое загрязнение среды : автореферат дис. ... доктора биологических наук : 03.00.16, 03.00.05 / Жуйкова Татьяна Валерьевна. - Екатеринбург, 2009. - 40 с.

3. Захаров В. М., Баранов А. С. и др. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методологическое руководство для заповедников / В. М. Захаров, А. С. Баранов и др.- М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
4. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Введение в современную науку о растительности. М.: ГЕОС, 2017. 278 с.
5. Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2016. - 300 с.
6. Стрельцов А.Б., Наумова А.А. Методика оценки степени флуктуирующей асимметрии листовых пластинок на примере березы повислой (бородавчатой) (*Betula pendula* Roth.). // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №3/2020. С. 303-311.

© Скок Н.В., Иванова Ю.Р., Юровских А.М., 2022

Спасовский Юрий Николаевич

Кавказский государственный природный биосферный заповедник им. Х.Г. Шапошникова, 385000, Россия, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Советская, 187; e-mail: *b.bonasus@mail.ru*

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА В.А. БАТМАНОВА В ФЕНОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ФИТОЦЕНОЗОВ ОСНОВНЫХ ВЫСОТНЫХ ПОЯСОВ КАВКАЗСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

АННОТАЦИЯ. В работе показаны результаты фенологического мониторинга растительных сообществ, на фенологическом профиле, в условиях северного макросклона Кавказского заповедника, с применением метода комплексных фенологических показателей В.А. Батманова. Приводятся также основные достоинства применения этого метода для дальнейших исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Фенологический мониторинг, фенологический профиль, фенологическая фаза, фитоценоз, суммированная фенологическая характеристика, средний фенологический коэффициент, феноаномалия.

Spasovsky Yuri Nikolaevich

Caucasus State Natural Biosphere Reserve named after H.G. Shaposhnikov; Maykop, Russia

EXPERIENCE IN USING THE METHOD OF V.A. BATMANOV IN PHENOLOGICAL MONITORING OF PHYTOCENOSSES OF THE MAIN HIGH-ALTITUDE ZONES OF THE CAUCASIAN RESERVE

ANNOTATION. The work shows the results of phenological monitoring of plant communities, on the phenological profile, in the conditions of the northern macro slope of the Caucasian Reserve, using the method of complex phenological indicators of V.A. Batmanov. The main advantages of using this method for further research are also given.

KEYWORDS: Phenological monitoring, phenological profile, phenological phase, phytocenosis, summarized phenological characteristic, mean phenological coefficient, phenoanomaly.

Практически с первых лет существования Кавказского заповедника фенологические наблюдения занимают одно из ведущих мест в его научной деятельности. На протяжении более чем 90-летней истории, в заповеднике, в той или иной степени внедрялись и апробировались различные методы фенологических исследований.

В 2001 году, в перспективный План НИР заповедника был введен раздел «Фенологический мониторинг фитоценозов основных высотных поясов». При разработке системы и методов наблюдений были использованы рекомендации Г.Э. Шульца [23], И.Н. Бейдеман [6], Г.Н. Зайцева [11], Г.П. Вязовской [8].

В 2006 году, в рамках этого раздела для дальнейших исследований автором был предложен метод комплексных фенологических показателей В.А. Батманова [2, 3, 4, 5], дополненный и унифицированный М.К. Куприяновой [12, 13] и Е.Ю. Терентьевой [20]. Предлагалось, изучив основные положения метода, отработать его на уже заложенном фенологическом профиле, в условиях северного макросклона заповедника, и использовать его в дальнейшем как основной метод фенологического мониторинга над основными растительными сообществами.

В основе метода В.А. Батманова лежит положение о том, что весь вегетационный период растений делится на два основных сезонных процесса (цикла): *генеративный*, включающий в себя развитие генеративных органов и производство потомства. И *вегетативный* — сезонные изменения ассимиляционного аппарата растения. Для оценки

каждого сезонного процесса применяется т.н. «*фенологический стандарт*», который представляет собой ряд последовательно сменяющих друг друга фенологических фаз, составленных отдельно для каждого сезонного цикла. Каждой фенофазе присвоен цифровой балл и буквенное обозначение. Вегетативный цикл феностандарта состоит из девяти фенофаз, а генеративный — из десяти [20]. Безусловно, такой фенологический стандарт не отражает сезонное развитие всех систематических групп растений, но в нашем случае все наблюдаемые виды вполне вписались в выбранные параметры стандарта.

Наблюдения, осуществлялись на фенологическом профиле: «Кордон Гузерипль — гора Тыбга», который был заложен в 2001 году и проходит по основным высотным поясам Пшекиш-Бамбакского геоботанического района заповедника [9]. Вдоль профиля было заложено шесть учетных фенологических площадок (ФП), которые были пронумерованы по порядку (ФП—1, 2, 3...), в соответствии с их удалением от начальной точки и высотным расположением. Была описана их орография, почвенные условия и определен тип фитоценоза [1, 10, 16, 22].

Закладка фенологических площадок осуществлялась по общей методике закладки фенологических площадей [6], и методу долговременных пробных площадей при изучении биоразнообразия лесных экосистем [24]. На местности площадки были промаркированы и зафиксированы с помощью системы GPS (Таблица 1).

Таблица 1.

Краткая характеристика фенологического профиля «Кордон Гузерипль – гора Тыбга»

Площадка, фитоценоз	Орография, местоположение, высота над у.м.	Склон	Древостой	Кустарники	Травяной ярус
ФП – 1 – Букняк среднетравно-ожиново-папоротниковый	Окрестности кордона Гузерипль, 684 м над у.м., 44°59'с.ш. 40°08'в.д.	Ю-З, 2°	6Бк2Бк2ПК.	<i>Rhododendron ponticum</i> L.	<i>Impatiens noli-tangere</i> L., <i>Paris incompleta</i> Bieb., <i>Geranium robertianum</i> L. и др.
ФП – 2 – Буко-пихтарник среднетравно-ожиново-папоротниковый	4-й км тропы, Пастбище Абаго, 1017 м над у.м. 44°58'с.ш. 40°09'в.д.	Ю-З, 2°	3ПК3ПК2Бк 2Бк+ПК	<i>Rhododendron ponticum</i> L., <i>Sambucus nigra</i> L.	<i>Impatiens noli-tangere</i> , <i>Geranium robertianum</i> , <i>Paris incompleta</i> , <i>Festuca drymeja</i> Mert. et Koch и др.
ФП – 3 – Буко-пихтарник среднетравно-овсянищевый	6-й км тропы, Пастбище Абаго, 1383 м над у.м. 43°58'с.ш. 40°10'в.д.	Ю-В, 30°	I ярус – 10ПК; II ярус - 7ПК3Бк+Кл подрост – 8ПК2Бк+Кл	<i>Rubus caesius</i> L.	<i>Festuca drymeja</i> , <i>Geranium robertianum</i> , <i>Helleborus caucasicus</i> A.Br., <i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All. и др.
ФП – 4 – Букняк саблевидный среднетравно-злаковый	11-й км тропы, Пастбище Абаго, 1783 м над у.м. 43°56'с.ш. 40°12'в.д.	С, 10°	7Бк1Б1Клв1П К+Р подрост – 8Бк1ПК1Клв	<i>Daphne albobianca</i> Woronow ex Pobed., <i>Ribes biebersteinii</i> Berl. ex DC	<i>Festuca drymeja</i> , <i>Milium schmidtianum</i> C. Koch, <i>Aconitum orientale</i> Mill., <i>Senecio propinquus</i> Schischk., <i>Euphorbia macroceras</i> Fisch. et C.A. Mey. и др.
ФП – 5 – Разнотравно-пестро-овсянищевый луг	21-й км тропы, отрог горы Тыбга, 2050 м над у.м. 43°53'71"с.ш 40°16'50"в.д	Седловина отрога	–	<i>Rhododendron caucasicum</i> Pall.	<i>Festuca versicolor</i> Tausch., <i>Bistorta carnea</i> (C.Koch) Kom., <i>Iris sibirica</i> L., <i>Epilobium montanum</i> L. и др.
ФП – 6 – Разнотравно-приземисто-овсянищевый луг	22-й км тропы, отрог горы Тыбга, 2350 м над у.м. 43°53'09"с.ш. 40°16'36"в.д.	Пологий участок на гребне	–	<i>Rhododendron caucasicum</i> Pall.	<i>Festuca airoides</i> Lam., <i>Ranunculus oreophilus</i> Bieb., <i>Carex tristis</i> Bieb., <i>Anemonastrum speciosum</i> (Adams ex G.Pritz.), <i>Primula amoena</i> Bieb. и др.

Наблюдения проводились т.н. «*первичным описательным методом*» [3, 5, 13, 14], суть которого в том, что при прохождении маршрута регистрировалось фенологическое состояние (фенофаза) каждого вида растения (учетной единицы) на учетной площадке в момент посещения (в определенную дату). Основное преимущество данного метода перед обычным методом «*регистратора срока*» [3, 5] в том, что каждое прохождение маршрута и осмотр фитоценозов давало некий законченный результат наблюдений, который фиксировался на специальном бланке. По данным Е.Ю. Терентьевой [20], посещения площадок с периодом 7—10 дней оказываются вполне достаточными, в нашем случае посещение площадок проводилось в среднем один раз в 15—20 дней.

Процесс наступления той или иной фенологической фазы у разных видов подчинен закону нормального распределения [15, 21], поэтому за феномежу мы принимали либо 25% от общего количества растений одного вида вступивших в фенофазу, либо 25% — проективного покрытия вида. Это позволяло в определенной мере избежать влияния индивидуальной изменчивости на результаты наблюдения.

Результатом каждого посещения феноплощадки был информационный бланк о фенологическом состоянии видов фитоценоза, в котором общее количество отметок (+) основных фенофаз равно количеству видов фитоценоза. Полученная сумма таких отметок, по каждой фенофазе (столбику бланка), переводилась в проценты от общего количества наблюдаемых видов данного фитоценоза. Это процентное соотношение видов растений, находящихся в определённой фенофазе на день обследования, и есть по В.А. Батманову — «*суммированная фенологическая характеристика*» (СФХ) данного фитоценоза, которая характеризует фенологическое состояние фитоценоза в день наблюдений.

В.А. Батманов считал, что суммированные фенологические характеристики вполне отражают характер сезонного развития растительности изучаемых фитоценозов. Впоследствии Е.Ю. Терентьева [17, 18, 19] предложила целесообразным для каждой СФХ еще вычислять т.н. — «*средний фенологический коэффициент*» (K_f), который представляет собой средний взвешенный балл фенологического состояния фитоценоза равный сумме баллов фенофаз каждого вида отнесенной к числу вегетирующих видов фитоценоза. Сопоставление среднего взвешенного балла с рядом фенофаз стандарта позволяет судить о состоянии сезонного развития фитоценоза в целом по изучаемому процессу на день исследования. Например, 6 июля 2006 года K_f вегетативного цикла на ФП—1 был равен 4,9 балла, т.е., букняк среднетравно-ожиново-папоротниковый, в день наблюдения, находится в состоянии завершения молодого листа (начале летней вегетации), и одновременно — в фазе окончания массового цветения, поскольку K_f генеративного цикла этого фитоценоза составил 4,7 балла.

Динамика нарастания K_{fcp} в течение вегетационного сезона, отражает ход сезонных изменений в фитоценозах, которые взаимосвязаны с температурными условиями и в первую очередь с минимальной ($min\ t$) температурой воздуха. Сравнение этих показателей для большинства фитоценозов, выявило очень тесную прямую зависимость. Коэффициент корреляции между K_{fcp} вегетативного цикла и $min\ t$ воздуха составил 0,74—0,84. Тесную прямую зависимость, показал и анализ динамики K_{fcp} генеративного цикла с $min\ t$ воздуха ($r = 0,67—0,80$). Это согласуется с выводами о том, что в развитии сезонных процессов наибольшее влияние имеют минимальные температуры воздуха, которые определяют пороговые значения начала и развития большинства фенологических фаз у растений [7].

В итоге используя полученные значения фенологических коэффициентов за 15 лет наблюдений, мы рассчитали среднепериодные значения коэффициентов (K_{fcp}) для каждого фитоценоза получив, таким образом, определенную среднемноголетнюю норму сезонной динамики для шести фитоценозов основных высотных поясов Кавказского заповедника.

Значения K_{fcp} позволяют в настоящее время оценивать погодичную феноизменчивость наблюдаемых фитоценозов посредством вычисления их *феноаномалий* (F) — разницы между K_{fcp} и показателями K_f в отдельные годы наблюдений. Положительные значения F показывают депрессивный характер сезонной динамики фитоценозов, или их

запаздывание по отношению к нормам. Отрицательные значения F – наоборот, характеризуют экспрессивное развитие сезонных процессов, т.е. их опережение по сравнению с нормой.

Таким образом, результаты исследований показали, что метод комплексных фенологических показателей В.А. Батманова наиболее приемлем для осуществления поставленных целей фенологического мониторинга в условиях Кавказского заповедника. Метод отличается относительной простотой сбора и обработки информации, которая позволяет использовать данные как однократных, так и постоянных наблюдений. Метод позволяет сравнивать полученные результаты наблюдений, даже в случае сильно отличающихся по видовому составу фитоценозов, поскольку мы оцениваем комплексные фенологические характеристики, а не фенологическое состояние каждого вида в отдельности.

Показатель среднего фенологического коэффициента учитывает фенологическое состояние всех видов растений данного фитоценоза, и, выражаясь по каждому процессу всего одним числом, соответственно поддается математической обработке. Однонаправленность показателей, дает возможность отслеживать тенденции фенологических изменений растительного сообщества во времени и пространстве (определять экологическую и погодичную изменчивость сезонных процессов) и при многолетних наблюдениях проводить статистический анализ, что, несомненно, является более конкретным отражением результатов фенологического мониторинга в целом. Возможен также анализ собранных данных внутри какой-либо феноплощадки, через дифференцирование видов на качественно отличные группы в зависимости от целей исследования (по жизненным формам, по феноритмотипам, по ярусности и т.п.).

Список литературы

1. Алтухов М. Д. 1985. Растительный покров высокогорий Северо-Западного Кавказа, его рациональное использование и охрана. – Дис. ... док. биол. наук., Майкоп, Адыг. гос. пед. институт, 400 с.
2. Батманов В.А. 1952. Календарь природы Свердловска и его окрестностей. — Свердловск, Свердл. обл. гос. изд., 98 с.
3. Батманов В.А. 1967а. К методике осенних фенологических наблюдений за окрашиванием листвы и листопадом – В кн: Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока, ч. 1 – Иркутск, Сибирское книжное изд., с. 122—128.
4. Батманов В.А. 1967б. Заметки по теории фенологических наблюдений – В кн: Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока, ч. 1 – Иркутск, Сибирское книжное изд., с. 7—30.
5. Батманов В.А. 1972. Об использовании вариационной статистики в фенологических исследованиях – В кн: Вопросы фенологического картирования. – Ленинград, гидромет. изд., с. 90—96.
6. Бейдеман И.Н. 1974. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. – Новосибирск: Наука, 154 с.
7. Буторина Т.Н., Крутовская Е.А. 1958. Корреляция некоторых феноиндикаторов с температурой. – В кн: Труды гос. зап.-ка. «Столбы». вып. 2. – Красноярск, с. 10—32.
8. Вязовская Г.П. 1947. Вертикальная изменчивость растительного и флористического состава Кавказского заповедника: Отчет о НИР (заключ.) – Кавказский гос. заповедник; Инв. № 154. — Майкоп, 50 с.
9. Голгофская К.Ю. 1967. К дробному геоботаническому районированию Кавказского заповедника. – В кн: Труды КГЗ., вып.9. – М., с. 119—157
10. Горчарук Л.Г. 1992. Горно-лесные почвы Западного Кавказа. Депонированная рукопись. ВНИИТЭНагропром. – М., 234 с.
11. Зайцев Г.Н. 1981. Фенология древесных растений. – М.: Наука, 120 с.

12. Куприянова М.К., Щенникова З.К. 1982. Использование описательных методов для изучения сезонной динамики горных природных комплексов – В кн: Сезонная ритмика природы горных областей – Ленинград, Сев.-Зап. книж. изд., с. 55—57.
13. Куприянова М.К. 1995. Научное наследие В.А. Батманова – Изв. РГО., Т. 127, вып. 1, с. 14—23.
14. Куприянова М.К., Новоженев Ю.И., Щенникова З.Г. 2000. Фенологические наблюдения во внеклассной работе – Екатеринбург, Банк культурной информации, 244 с.
15. Лакин Г.Ф. 1968. Биометрия – Москва, изд. «Высшая школа», 284 с.
16. Спасовский Ю.Н. 2008. Фенологический мониторинг основных фитоценозов Кавказского заповедника. – В кн: Труды КГПБЗ., вып. 18. – Майкоп. ООО «Качество», с. 246—268.
17. Терентьева Е.Ю. 1996. Повышение информативности фитофенологических спектров с помощью интегрального описательного метода В.А.Батманова при проведении наблюдений в заповедниках – В кн: Проблемы заповедного дела. 25 лет Висимскому заповеднику: материалы научной конференции – Екатеринбург, изд. «Екатеринбург», с. 103—105.
18. Терентьева Е.Ю. 1997. Использование комплексных фенологических характеристик в ландшафтных исследованиях – В кн: Актуальные проблемы эколого-географического изучения Урала для целей оптимизации природопользования и регионализации образования: тезисы докладов научно-практической конференции – Екатеринбург, изд. Урал. гос. пед. ун-та, с. 48—50
19. Терентьева Е.Ю. 2000. Сезонный мониторинг растительности через суммированные фенологические характеристики фитоценозов – В кн: Актуальные проблемы регионального, географического, экологического и биологического образования: материалы региональной научно-практической конференции – Екатеринбург, изд. УрГПУ, с. 116—117.
20. Терентьева Е. Ю. 2001. Комплексные фенологические показатели фитоценозов и их использование при организации феномониторинга – Дис. ... канд. биол. наук., Екатеринбург, Уральский. гос. пед. университет, 177 с.
21. Харин Н.Г., Кирильцева А.А., Грингоф И.Г. 1993. Сезонные явления природы: Методы фенологических наблюдений. – С-Пб.: Гидрометеиздат, 136 с.
22. Чумаченко Ю.А. 2003. Горно-луговые почвы Кавказского заповедника. – В кн: Труды КГПБЗ: 80 лет Кавказскому заповеднику — путь от Великокняжеской охоты до Всемирного природного наследия. Юбилейный, вып. 17. – Сочи: Проспект, с. 122—146.
23. Шульц Г.Э. 1971. Общая фенология. – Л.: Наука, 187 с
24. Dallmeier F. (Ed.) 1992. Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas: methods for establishment and inventory of permanent plots. MAB Digest 11, UNESCO, Paris, 72 P

© Спасовский Ю. Н., 2022

Фадеева Инна Вадимовна,

Кандидат биологических наук, Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук; 197376, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2;
butvik@mail.ru

Лебедев Павел Александрович,

Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова; 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5; Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук; 197376, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2; p_lebedev@mail.ru

Фирсов Геннадий Афанасьевич,

Кандидат биологических наук, Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук; 197376, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2;
gennady_firsov@mail.ru

**ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ ПЕТРА
ВЕЛИКОГО И ДЕТСКАЯ ФЕНОЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

АННОТАЦИЯ. В условиях потепления климата Санкт-Петербурга наблюдается тенденция к ускорению и более раннему наступлению весенне-летних фенологических явлений природы, к увеличению продолжительности осени (за счёт её второй половины) и к сокращению зимнего сезона года. По наблюдениям в 2018-2021 гг., начиная с подсезона «Предвесенье» и до второго этапа подсезона «Спад лета» включительно, 9 этапов из 14 стали наступать в достоверно ранние сроки, чем это отмечалось по среднемноголетним значениям в 1980-2009 гг. Это подтверждает, что в условиях климатических изменений большую значимость приобретают фенологический мониторинг и своевременная публикация результатов наблюдений. В таких условиях важное значение имеет Детская фенологическая сеть Санкт-Петербурга, созданная авторами в 2017 г., которая охватывает 12 детских учреждений. Данные сети могут иметь практическое значение и помочь уточнить микроклиматические и фенологические различия разных районов города. Для дальнейшего изучения фенологической гетерогенности территории следует расширить Детскую фенологическую сеть и продолжить ряд непрерывных наблюдений. На территории дошкольных учреждений, являющихся опытно-экспериментальными фенологическими площадками БИН РАН, необходимо произвести посадки недостающих модельных растений-дендрофеноиндикаторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фенология, Детская фенологическая сеть, ботанический сад, Санкт-Петербург.

Fadeeva Inna Vadimovna,

Candidate of Biological Sciences, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences; St. Petersburg, Russia

Lebedev Pavel Alexandrovich,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov; Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences; St. Petersburg, Russia

Firsov Gennady Afanasievich,

Candidate of Biological Sciences, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences; St. Petersburg, Russia

PHENOLOGICAL OBSERVATIONS IN THE BOTANICAL GARDEN OF PETER THE GREAT AND THE CHILDREN'S PHENOLOGICAL NETWORK OF ST. PETERSBURG

ANNOTATION. In the conditions of the warming climate of St. Petersburg, there is a tendency to accelerate and earlier onset of spring-summer phenological phenomena of nature, to increase the duration of autumn (due to its second half) and to reduce the winter season of the year. According to observations in 2018-2021, starting from the "Pre-Spring" sub-season and up to the second stage of the "Summer Decline" sub-season inclusive, 9 stages out of 14 began to occur at a reliably significantly earlier time than it was noted by the average long-term values in 1980-2009. This confirms that in the conditions of climate change, phenological monitoring and timely publication of observation results are becoming more important. In such conditions, the Children's Phenological Network of St. Petersburg, created by the authors in 2017, which covers 12 children's institutions, is of great importance. These networks can be of practical importance and help clarify the microclimatic and phenological differences between different districts of the city. To further study the phenological heterogeneity of the territory, it is necessary to expand the Children's Phenological Network and continue a series of continuous observations. On the territory of preschool institutions, which are experimental phenological sites of the BIN RAS, it is necessary to plant the missing model plants-dendrophenoindicators.

KEYWORDS: phenology, Children's phenological network, botanical garden, St. Petersburg.

Введение

В Санкт-Петербурге накоплены самые длительные в России ряды непрерывных фенологических наблюдений. Важнейшую часть фенологических исследований при этом составляют наблюдения за естественной периодизацией года, то есть, календарем природы [8]. Они осуществляются по программе территориально-феноиндикационной системы календаря природы Ладого-Ильменского дендрофлористического района [1]. В Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (БИН РАН) фенологические наблюдения за индикаторами календаря природы ведутся непрерывно с 1980 г. и состоят в ежегодном учете дат наступления определенных фенофаз у древесных растений-феноиндикаторов наступления сезонов, подсезонов и феноэтапов года. В 2009 г. был опубликован календарь природы парка БИН РАН за 15 лет наблюдений: 1980-1995 гг. [3]. Авторами впервые за 290 лет существования парка БИН РАН был составлен фенологический календарь на основе оригинальных многолетних наблюдений за дендрофеноиндикаторами естественной периодизации года с учётом метеорологических данных по метеостанции Санкт-Петербург. С 1995 г. прошло ещё 15 лет, и был составлен и опубликован календарь природы парка БИН РАН уже за 30 лет наблюдений [7].

В 2017 г. руководителем Фенологического центра БИН РАН П.А. Лебедевым, совместно с Международной академией современного профессионального образования (МАСПО) было организовано сотрудничество с дошкольными образовательными учреждениями (ДОУ), на территории которых педагоги с воспитанниками под руководством ученых стали проводить ежегодные фенологические наблюдения [4]. Благодаря такому сотрудничеству была создана Детская фенологическая сеть Санкт-Петербурга. Географически Фенологическая сеть представлена на рисунке 1.

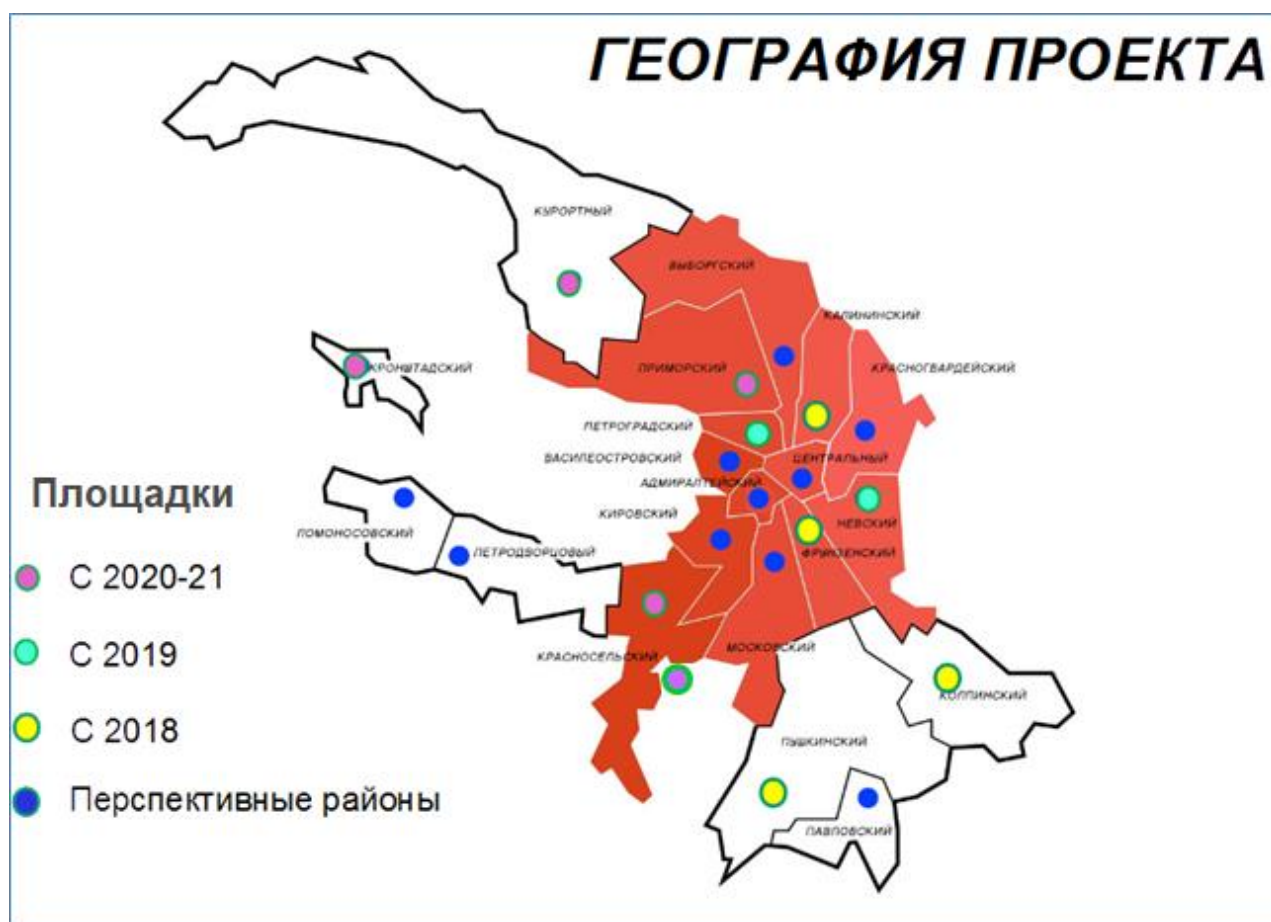


Рис. 1. Схема расположения опытно-экспериментальных площадок Детской фенологической сети Санкт-Петербурга

В настоящее время в проекте участвуют 12 детских дошкольных учреждений. Они подключались к проекту в разные годы. Данные Детской фенологической сети сопоставляют с данными эталонных феностанции, которых в Санкт-Петербурге два. Первый – это ботанический сад Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова (СПбГЛТУ), где непрерывные наблюдения за отдельными видами растений Календаря природы проводятся с 1830 г. (с 2002 г. по настоящее время наблюдатель И.В. Фадеева). Второй пункт – это Ботанический сад Петра Великого БИН РАН, где мониторинг по программе Календаря природы ведётся с 1980 г. (наблюдатель куратор парка-дендрария Г.А. Фирсов). При этом феностанция БИН РАН характеризует центральную, более теплообеспеченную часть городской территории. Феностанция СПбГЛТУ характеризовал в прошлые десятилетия северные окрестности Санкт-Петербурга с более холодным микроклиматом (хотя расстояние между ними всего 5 километров). В настоящее время к северу от СПбГЛТУ выросли большие жилые массивы, а граница города отодвинулась на 4 км севернее. Анализ данных фенологического мониторинга поможет выявить как это сказывается на сроках наступления фенофаз у растений и насколько существенными остаются микроклиматические и фенологические различия. В настоящей статье приводятся результаты фенологических наблюдений в Санкт-Петербурге за 4-х летний период 2018-2021 гг. Включены также результаты наблюдений, собранные педагогами с воспитанниками ДОО, которые одни из первых подключились к Детской фенологической сети и начали свои наблюдения уже в 2018-2019 гг. и являются опытно-экспериментальными фенологическими площадками БИН РАН (далее фенологические площадки). Используются данные шести детских фенологических площадок, которые расположены по направлению с севера на юг Санкт-Петербурга. На севере расположены Муринский парк (Калининский район) и фенологическая площадка ГБДОУ детский сад № 39 Калининского района С-Пб, в

центральной части расположена фенологическая площадка ГБДОУ детский сад № 72 Петроградского района, а на юге города расположены три фенологические площадки: ГБДОУ детский сад № 106 Фрунзенского района, ГБДОУ детский сад № 103 Невского района и на самой окраине города ГА ДОУ детский сад №15 Колпинского района Санкт-Петербурга.

Методы и объекты исследований

Объектами изучения служили древесные растения местной и интродуцированной дендрофлоры в Санкт-Петербурге. В работе использованы данные метеостанции Санкт-Петербург Северо-Западного межрегионального территориального управления федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Обозначения фенофаз даны по Н.Е. Булыгину [2]. Естественная периодизация года приводится по Н.Е. Булыгину [1]. За эталон принят Календарь природы БИН РАН. Средне многолетние даты наступления его феноэтапов года за 30-летие 1980-2009 гг. математически обработаны и опубликованы ранее [7]. Фенологические площадки Детской фенологической сети Санкт-Петербурга охватывают как территорию самих ДОУ, так и прилегающую территорию. Данные по Муринскому парку получены при участии воспитанников Учебно-консультационного центра «Родник» при Спасо-Парголовском храме Выборгского района Санкт-Петербурга. По полной программе этого Календаря наблюдения проводятся также в Детском фенологическом парке, организованном на базе ГБДОУ детский сад №106 комбинированного вида Фрунзенского района Санкт-Петербурга. Для сравнения были выбраны те фенологические площадки, в которых максимально присутствуют схожие дендрологические объекты, необходимые для проведения фенологических наблюдений. Поскольку растения *Alnus incana* (L.) Moench и *Salix caprea* L. произрастают только на территории лишь нескольких фенологических площадок, сравнение сроков наступления весенних фенологических фаз между приведенными районами проводилось, начиная с фазы распускания листьев и пыления березы повислой (с первого этапа подсезона «Разгар весны»). Для индикации использовались по возможности средневозрастные половозрелые модельные растения ранних форм или биотипов. При выборе модельных растений отдавалось предпочтение растениям, растущим вдали от асфальтовых дорог и зданий, средневозрастных половозрелых экземпляров, произрастающих на хорошо освещённых местах.

Даты наступления феноэтапов года были подразделены на 3 группы: ранние, идущие с опережением средне многолетних сроков (Р), «нормальные» или средние (Н) и поздние, наступающие с опозданием от нормы (П), при норме $X \pm 3m_x$ (при доверительном уровне $P=0,99$).

Обсуждение результатов

В таблице 1 показаны сроки наступления фенологических времён года в феностанции Ботанического сада Петра Великого БИН РАН на Аптекарском острове в Санкт-Петербурге в четырёхлетие 2018-2021 гг. на фоне средне многолетних значений.

Таблица 1

Динамика наступления феноэтапов года в феностанции БИН РАН в 2018-2021 гг.

Подсезоны, феноэтапы года. Явления-индикаторы	Средне- многолет- няя дата $X_{\text{ср.}} \pm m$ (1980- 2009 гг.)	Даты с ранжировкой на ранние, нормальные и поздние				
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	$X_{\text{ср.}}$ 2018- 2021 гг.
Предвесенье. Дата устойчивого перехода максимальной суточной температуры воздуха через 0°C	03.03 $\pm 4,0$	19.03 (П)	08.02 (Р)	09.02 (Р)	24.03 (П)	01.03 (Н)
Снеготаяние. 1 этап. Дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C	15.03 $\pm 3,0$	31.03 (П)	15.03 (Р)	09.02 (Р)	24.03 (Н)	12.03 (Н)

Подсезоны, феноэтапы года. Явления-индикаторы	Средне- многолет- няя дата Хср.±m (1980- 2009 гг.)	Даты с ранжировкой на ранние, нормальные и поздние				
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Хср. 2018- 2021 гг.
Снеготаяние. 2 этап. Сокодвижение у <i>Betula pendula</i>	26.03 ±2,3	06.04 (П)	24.03 (Н)	22.02 (Р)	27.03 (Н)	20.03 (Н)
Оживление весны. 1 этап. Зацветание <i>Alnus incana</i>	03.04 ±2,4	08.04 (Н)	25.03 (Р)	22.02 (Р)	27.03 (Н)	21.03 (Р)
Оживление весны. 2 этап. Зацветание <i>Salix caprea</i>	22.04 ±1,5	19.04 (Н)	11.04 (Р)	07.04 (Р)	15.04 (Р)	13.04 (Р)
Разгар весны. 1 этап. Появление листьев и зацветание <i>Betula pendula</i>	02.05 ±1,3	04.05 (Н)	23.04 (Р)	02.05 (Н)	08.05 (П)	01.05 (Н)
Разгар весны. 2 этап. Зацветание <i>Padus avium</i>	14.05 ±1,4	12.05 (Н)	6.05 (Р)	11.05 (Н)	13.05 (Н)	10.05 (Н)
Разгар весны. 3 этап. Зацветание <i>Syringa vulgaris</i>	24.05 ±1,2	17.05 (Р)	19.05 (Р)	27.05 (Н)	19.05 (Р)	20.05 (Н)
Начало лета. 1 этап. Зацветание <i>Syringa josikaea</i>	04.06 ±1,1	25.05 (Р)	27.05 (Р)	04.06 (Н)	30.05 (Р)	29.05 (Р)
Начало лета. 2 этап. Зацветание <i>Spiraea salicifolia</i>	17.06 ±1,2	02.06 (Р)	06.06 (Р)	12.06 (Р)	14.06 (Н)	08.06 (Р)
Полное лето. 1 этап. Зацветание <i>Tilia platyphyllos</i>	29.06 ±1,1	18.06 (Р)	19.06 (Р)	27.06 (Н)	20.06 (Р)	21.06 (Р)
Полное лето. 2 этап. Зацветание <i>Tilia cordata</i>	08.07 ±1,3	28.06 (Р)	24.06 (Р)	30.06 (Р)	25.06 (Р)	26.06 (Р)
Полное лето. 3 этап. Созревание плодов у <i>Padus avium</i>	16.07 ±1,3	03.07 (Р)	04.07 (Р)	10.07 (Р)	02.07 (Р)	04.07 (Р)
Спад лета. 1 этап. Созревание плодов у <i>Ribes alpinum</i> и <i>Cotoneaster melanocarpus</i>	29.07 ±1,6	06.07 (Р)	14.07 (Р)	15.07 (Р)	19.07 (Р)	13.07 (Р)
Спад лета. 2 этап. Созревание плодов у <i>Sorbus aucuparia</i>	11.08 ±1,2	05.08 (Р)	28.07 (Р)	03.08 (Р)	10.08 (Н)	03.08 (Р)
Начало осени. 1 этап. Начало пожелтения листьев у <i>Betula pendula</i>	29.08 ±0,9	05.09 (П)	25.08 (Р)	01.09 (Н)	28.08 (Н)	30.08 (Н)
Начало осени. 2 этап. Начало осеннего изменения окраски листьев у <i>Acer platanoides</i>	11.09 ±1,0	17.09 (П)	7.09 (Р)	17.09 (П)	14.09 (Н)	13.09 (Н)
Золотая осень. 1 этап. Начало пожелтения листьев у <i>Salix caprea</i>	20.09 ±1,1	19.09 (Н)	20.09 (Н)	23.09 (Н)	19.09 (Н)	20.09 (Н)
Золотая осень. 2 этап. Полное пожелтение листьев у <i>Betula pendula</i>	04.10 ±0,9	08.10 (П)	04.10 (Н)	11.10 (П)	02.10 (Н)	06.10 (Н)
Глубокая осень. 1 этап. Опадение листьев у <i>Betula pendula</i>	17.10 ±0,9	18.10 (Н)	20.10 (Н)	23.10 (П)	16.10 (Н)	19.10 (Н)
Глубокая осень. 2 этап. Опадение листьев у <i>Alnus incana</i> и <i>Swida alba</i> , <i>Salix caprea</i>	24.10 ±1,0	09.11 (П)	28.10 (П)	03.11 (П)	30.10 (П)	02.11 (П)
Предзимье. Дата устойчивого перехода минимальной температуры воздуха через 0°C в сторону понижения	09.11 ±2,9	21.11 (П)	27.12 (П)	29.11 (П)	21.11 (П)	02.12 (П)
Первозимье. Дата устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C в сторону понижения	19.11 ±3,5	26.11 (Н)	26.01 (П)	07.12 (П)	27.11 (Н)	14.12 (П)

Из таблицы 1 видно, что сейчас, на рубеже второго-третьего десятилетий XXI века, наблюдается тенденция к более раннему наступлению весенних и летних феноэтапов года, особенно летних. Начиная с подсезона «Предвесенье» до второго феноэтапа подсезона «Спад лета» 9 феноэтапов стали наступать в достоверно ранние сроки, и у пяти феноэтапов сроки

не изменились (остались в группе «средних»). Весной раньше стали наступать первый и второй фазы подсезона «Оживление весны». Летом все семь фаз, от подсезона «Начало лета» до второго фазы подсезона «Спад лета», стали наступать раньше, чем это отмечалось по среднесезонным значениям 30-летия 1980-2009 гг. Всё это проходит на фоне заметного и возрастающего потепления климата Санкт-Петербурга [5, 6, 9]. Осенью наоборот, начиная со второго фазы подсезона «Глубокая осень» и до подсезона «Первозимье», все три фазы отодвигают свои сроки на более поздние. Таким образом, в условиях повышенной теплообеспеченности наблюдается тенденция к ускорению и более раннему наступлению весенне-летних фенологических явлений природы, к увеличению продолжительности осени (за счёт её второй половины) и сокращению зимнего сезона года.

Внутри этого четырёхлетия 2018-2021 гг. каждый год был по-своему уникальным и неповторимым. Так, в 2020 г. большинство весенне-летних сезонов года шли с большим опережением своих среднесезонных сроков, и не было ни одного фазы, позднего по срокам. Наступление второго фазы подсезона «Оживление весны» 7 апреля - повторение рекордно ранней даты 2007 года. А особенностью 2021 года стало аномально жаркое и засушливое лето. Среднемесячная температура июня (21,4°) – рекорд за весь период инструментальных метеорологических наблюдений с 1752 г. [8]. Фенологические аномалии этого года проявились, прежде всего, в ранних сроках наступления фаз, начиная с третьего фазы подсезона «Разгар весны» и до первого фазы подсезона «Спад лета» включительно, а сроки фаз подсезона "Полное лето" стали рекордными или близкими к рекордным. Летняя засуха 2021 года, сопровождающаяся аномальной жарой, вызвала преждевременное пожелтение и опадение листьев многих видов деревьев и кустарников. Всё это подтверждает, что в условиях климатических изменений большую значимость приобретают фенологический мониторинг и своевременная публикация результатов этих наблюдений.

В таблице 2 приводятся данные фенонаблюдений за этот же период времени 2018-2021 гг. в феностационарах БИН РАН и СПбГЛТУ и на шести фенологических площадках Детской фенологической сети Санкт-Петербурга.

Таблица 2

Даты наступления дендрофеноиндикаторов Календаря природы в различных районах Санкт-Петербурга в 2018-2021 гг.

Сезоны, подсезоны, фазы года. Явления-индикаторы	Год наблюдений	Парк и дендрарий СПбГЛТУ	Ботанический сад Петра Великого	ГБДОУ д/с № 72 д/с. Петроградского р-на	Муирский парк (Выборгский район)	ГБДОУ д/с № 106 Фрунзенского р-на С-Пб	ГБДОУ д/с № 103 Невского р-на С-Пб	ГБДОУ д/с № 39 Калининского р-на С-Пб	ГА ДОУ д/с № 15 Колпинского р-на С-Пб
ВЕСНА									
Разгар весны. 1 этап. Появление листьев и зацветание <i>Betula pendula</i>	2018	04.05	04.05	-	04.05	04.05	-	04.05	-
	2019	23.04	23.04	23.04	23.04	23.04	22.04	23.04	-
	2020	02.05	02.05	01.05	01.05	01.05	01.05	02.05	-
	2021	08.05	08.05	07.05	08.05	08.05	07.05	08.05	07.05
Разгар весны. 2 этап. Зацветание <i>Padus avium</i>	2018	13.05	12.05	-	13.05	13.05	-	12.05	11.05
	2019	07.05	06.05	06.05	07.05	07.05	08.05	07.05	07.05
	2020	12.05	11.05	11.05	12.05	11.05	12.05	11.05	11.05
	2021	14.05	13.05	13.05	14.05	14.05	14.05	13.05	13.05
Разгар весны. 3 этап. Зацветание <i>Syringa vulgaris</i> и	2018	20.05	17.05	-	19.05	-	-	17.05	16.05
	2019	20.05	19.05	19.05	17.05	-	18.05	16.05	-
	2020	30.05	27.05	27.05	29.05	29.05	29.05	28.05	26.05

Сезоны, подсезоны, феноэтапы года. Явления-индикаторы	Год наблюдений	Парк и дендрарий СПБЛТУ	Ботанический сад Петра Великого	ГБДОУ д/с № 72 д/с. Петроградского р-на	Муиринский парк (Выборгский район)	ГБДОУ д/с № 106 Фрунзенского р-на С-Пб	ГБДОУ д/с № 103 Невского р-на С-Пб	ГБДОУ д/с № 39 Калининского р-на С-Пб	ГА ДОУ д/с № 15 Колпинского р-на С- Пб
<i>Sorbus aucuparia</i>	2021	21.05	19.05	19.05	20.05	21.05	20.05	23.05	-
ЛЕТО									
Начало лета. 1 этап. Зацветение <i>Syringa josikaea</i> , (* <i>Rosa rugosa</i>)	2018	28.05	25.05	-	25.05	28.05	-	27.05	-
	2019	28.05	27.05	28.05	27.05	28.05	27.05	28.05	-
	2020	05.06	04.06	04.06	04.05	05.06	04.06	*09.06	-
	2021	03.06	30.05	30.05	03.06	03.06	02.06	*30.05	*26.05
Начало лета. 2 этап. Зацветание <i>Spiraea salicifolia</i>	2018	04.06	02.06	-	-	-	-	-	-
	2019	08.06	06.06	-	-	07.06	-	-	08.06
	2020	17.06	12.06	-	-	17.06	-	-	-
	2021	17.06	14.06	-	-	18.06	-	-	-
Полное лето 1 этап. Зацветание <i>Tilia platyphyllos</i>	2018	20.06	18.06	-	20.06	19.06	-	20.06	-
	2019	20.06	19.06	19.06	19.06	20.06	20.06	20.06	-
	2020	28.06	27.06	27.06	27.06	27.06	27.06	27.06	-
	2021	21.06	20.06	20.06	21.06	22.06	20.06	21.06	-
Полное лето. 2 этап. Зацветание <i>Tilia cordata</i>	2018	30.06	28.06	-	29.06	30.06	-	-	26.06
	2019	24.06	24.06	24.06	24.06	24.06	24.06	-	22.06
	2020	30.06	30.06	30.06	30.06	30.06	30.06	30.06	30.06
	2021	25.06	25.06	25.06	25.06	25.06	25.06	25.06	25.06
Полное лето. 3 этап. Созревание плодов <i>Padus avium</i>	2018	04.07	03.07	-	03.07	04.07	-	04.07	02.07
	2019	05.07	04.07	04.07	05.07	06.07	06.07	05.07	04.07
	2020	12.07	10.07	10.07	12.07	12.07	10.07	12.07	10.07
	2021	03.07	02.07	02.07	03.07	03.07	02.07	03.07	02.07
ОСЕНЬ									
Начало осени. 1 этап. Начало пожелтения листьев <i>Betula pendula</i>	2018	08.09	05.09	-	07.09	08.09	-	08.09	-
	2019	28.08	25.08	25.08	28.08	28.08	02.09	28.08	-
	2020	05.09	01.09	01.09	03.09	05.09	04.09	-	-
	2021	02.09	28.08	28.08	01.09	02.09	01.09	02.09	-
Начало осени. 2 этап. Начало осеннего пожелтения листьев <i>Acer platanoides</i>	2018	19.09	17.09	-	-	19.09	-	-	-
	2019	10.09	07.09	07.09	09.09	10.09	09.09	08.09	-
	2020	19.09	17.09	17.09	18.09	16.09	19.09	19.09	-
	2021	17.09	14.09	17.09	16.09	17.09	15.09	17.09	-
Золотая осень. 2 этап. Полное пожелтение листьев <i>Betula pendula</i>	2018	10.10	08.10	-	10.10	08.10	-	-	09.10
	2019	06.10	04.10	04.10	06.11	04.10	09.10	08.10	09.10
	2020	13.10	11.10	11.10	13.10	12.10	12.10	13.10	10.10
	2021	05.10	02.10	01.10	05.10	30.09	03.10	05.10	02.10
Глубокая осень. 2 этап. Опадение листьев <i>Alnus incana</i> , <i>Cornus alba</i>	2018	09.11	09.11	-	10.11	09.11	-	10.11	-
	2019	28.10	28.10	28.10	28.10	28.10	-	28.10	26.10
	2020	06.11	03.11	03.11	07.11	-	04.11	06.11	04.11
	2021	30.10	30.10	28.10	30.10	28.10	28.10	28.10	-

Примечание: В таблице 2 прочерки в ячейках означают, что зарегистрированный срок наступления явления требует уточнения, или данные отсутствуют.

При сравнении различий в сроках наступления фенофаз-индикаторов между стационарами БИН РАН и СПбГЛТУ оказывается, что эти фенофазы наступают почти одновременно, или с некоторым отставанием по отдельным этапам года в СПбГЛТУ, при этом различие обычно не превышает 1-3 дня. Можно заметить, что в СПбГЛТУ наблюдается тенденция к более позднему наступлению как весенне-летних, так и осенних явлений. В некоторых случаях более поздние даты могут быть обусловлены месторасположением модельных экземпляров, многие из которых в СПбГЛТУ находятся в затенении. Если обратить внимание на отдельные фенологические площадки Детской фенологической сети Санкт-Петербурга, то можно увидеть, что большинство феноэтапов года наступает почти одновременно, как в северных районах города (Муринский парк), так и в южный (Фрунзенский район), мало отличаясь от стационаров БИН РАН и СПбГЛТУ. Это касается всех рассматриваемых феноэтапов года. Например, сроки начала цветения *Tilia platyphyllos* Scop., как индикатора наступления подсезона «Полное лето» во все годы отмечались почти одновременно по всей городской территории. В Колпинском районе, который является самым южным объектом наблюдений, сроки наступления фенофаз-индикаторов очень близки к таковым в феностанции БИН РАН. Для дальнейшего изучения фенологической гетерогенности территории Санкт-Петербурга следует расширить Детскую фенологическую сеть и продолжить ряд непрерывных наблюдений, точно придерживаясь методики наблюдений. Для этого необходимо дополнить фенологические площадки посадками модельных растений-дендрофеноиндикаторов.

Данные Детской фенологической сети могут помочь уточнить микроклиматические различия районов города. Следует заметить, что город разрастается, и появляются новые районы Санкт-Петербурга, где различия по теплообеспеченности и в сроках наступления фенологических фаз у растений Календаря природы могут быть достаточно существенны. При расширении Детской фенологической сети станет возможно составить фенологический атлас Санкт-Петербурга. Такой атлас сможет помочь в подборе ассортимента древесных растений для озеленения; в планировании сроков проведения сезонных агротехнических работ. Кроме того, полученные феноданные могут быть использованы при прогнозировании сроков цветения растений-аллергенов.

На территории дошкольных образовательных учреждений – участников Детской фенологической сети появилась возможность высаживать виды древесных растений, успешно прошедшие интродукционные испытания в ботанических садах Санкт-Петербурга. Такие фенологические площадки, где обеспечивается уход и сохранность древесных растений новых видов могут стать небольшими интродукционными центрами. Так, осенью 2021 года в ГБДОУ детский сад № 4 Ломоносовского района Ленинградской области, являющемся опытно-экспериментальной площадкой БИН РАН, были высажены из питомника Ботанического сада Петра Великого новые для этого района виды и формы древесных растений.

Заключение

Потепления климата в Санкт-Петербурге приводит к ускорению и более раннему наступлению весенне-летних фенологических явлений природы, а так же к увеличению продолжительности осени (за счёт её второй половины) и сокращению зимнего сезона года. В сравнении со среднегодовыми значениями 1980-2009 гг., по наблюдениям 2018-2021 гг., начиная с подсезона «Предвесенье» и до второго этапа подсезона «Спад лета» включительно, 9 этапов из 14 стали наступать в достоверно ранние сроки. Это подтверждает важность дальнейшего фенологического мониторинга, отражающего реакцию растений на изменения климата и необходимость своевременной публикации результатов наблюдений. Теплообеспеченность города и его отдельных районов меняется, как в результате потепления климата, так и по причине разрастания территории за счет строительства новых районов и увеличения количества дорог, домов и автотранспорта. В этих условиях возрастает необходимость расширения Детской фенологической сети и уточнения на основе

полученных данных фенологической гетерогенности различных районов города. На основе фенологических данных возможно будет уточнить и микроклиматические различия в теплообеспеченности разных районов города. Повысить точность наблюдений помогут дополнительные посадки модельных растений-дендрофеноиндикаторов на фенологических площадках Детской фенологической сети.

Работа выполнена в рамках государственного задания по плановой теме «Коллекции живых растений Ботанического института им. В.Л. Комарова (история, современное состояние, перспективы использования)», номер 122011900031-0.

Список литературы

1. Булыгин Н.Е. Биологические основы дендрофенологии. Л.: Изд-во ЛТА, 1982. 80 с.
2. Булыгин Н.Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Л.: ЛТА, 1979. 97 с.
3. Комарова В.Н., Фирсов Г.А., Фадеева И.В. Календари природы ботанических садов Санкт-Петербурга // Известия СПбГЛТУ. 2009. Вып. 186. С. 40-48.
4. Лебедев П.А., Заболотнова О.В., Фадеева И.В., Булатецкий М.В. Создание и перспективы развития детской фенологической сети Санкт-Петербурга // Инновации и традиции в современной ботанике: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения В.Л. Комарова. СПб.: Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН.- Санкт-Петербург.- 2019. С. 62
5. Мелешко В.П., Мещерская А.В., Хлебникова Е.И. (ред.). Климат Санкт-Петербурга и его изменения. СПб.: Гос. учреждение «Главная геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова», 2010. 256 с.
6. Фирсов Г.А. Древесные растения ботанического сада Петра Великого (XVIII-XXI вв.) и климат Санкт-Петербурга // Ботаника: история, теория, практика (к 300-летию основания Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской академии наук): Тр. междунар. науч. конф. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. С. 208-215.
7. Фирсов Г.А., Фадеева И.В. Календарь природы Ботанического сада Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН // Древесные растения: фундаментальные и прикладные исследования. Вып. 2. М.: ФГБУН ГБС РАН, 2013. С. 111-125.
8. Фирсов Г.А., Фадеева И.В. Особенности динамики сезонного развития природы в Санкт-Петербурге в 2021 году // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о земле. 2022. Т. 32. Вып. 2. С. 110-129.
9. Фирсов Г.А., Ярмишко В.Т., Змитрович И.В., Бондарцева М.А., Волобуев С.В., Дудка В.А. Морозобоины и патогенные ксилотрофные грибы в парке-дендрарии Ботанического сада Петра Великого. СПб. Изд-во «Ладога». 2021. 304 с.

© Фадеева И.В., Лебедев П.А., Фирсов Г.А., 2022

Янцер Оксана Васильевна,

Кандидат географических наук, Уральский государственный педагогический университет
620019, Россия, г. Екатеринбург Свердловской области, пр. Космонавтов, 26; e-mail:
ksenia_yantser@bk.ru

Лаптев Никита Андреевич,

Студент, Уральский государственный педагогический университет
620019, Россия, г. Екатеринбург Свердловской области, пр. Космонавтов, 26; e-mail:
nikitalaptevl@mail.ru

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

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: феноиндикатор, сезонная динамика, ландшафтная провинция, черемуха, изменение климата, Урал.

Yantser Oksana Vasilievna,

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

Laptev Nikita Andreevich,

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

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

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

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

Введение

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

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

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

Материалы и методы

Согласно схеме физико-географического районирования, предложенной В.И. Прокаевым, изучаемая территория расположена в пределах пяти ландшафтных областей Новоземельско-Уральской равнинно-горной страны: таежной умеренно-континентальной, таежной континентальной, лесостепной умеренно-континентальной, лесостепной континентальной и степной континентальной [8]. В пределах таежной и лесостепной зон Северного, Среднего и Южного Урала секторные факторы дифференциации приводят к обособлению двух зонально однородных ландшафтных областей – умеренно-континентальной и континентальной. Обследованная территория административно располагается в пределах Пермского края, Свердловской, Челябинской, Оренбургской областей и республики Башкортостан. В качестве вспомогательных пунктов для уточнения вектора проведения изохрон использованы данные Кировской, Тюменской, Курганской областей, республики Коми и Удмуртской республики, Северо-Казахстанской и 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 пределах лесостепной ландшафтной области Урала в умеренно-континентальных условиях выделяется Западная предгорно-среднегорная провинция Южного Урала [8, 10]. В континентальном секторе сформировались природные комплексы двух ландшафтных провинций – Восточной

предгорно-среднегорной Южного Урала и Исетско-Уйской провинции Зауральского пенеплена. Степная ландшафтная область занимает крайнее южное положение на обследованной территории Южного Урала, отличаясь засушливостью и континентальностью климата. В пределах степной континентальной области отчетливо выделяются две ландшафтные провинции: Южноуральское плоскогорье и Урало-Тобольская провинция Зауральского пенеплена.

Изучение динамики сроков зацветания черемухи сопряжено с применением методов, основанных на сборе, обработке и анализе существенного массива первичных данных в пределах опорных пунктов и ключевых участков. В результате инвентаризации архивных документов, локализованных в Фенологическом центре БИН РАН им. В.Л. Комарова, были отобраны первичные фитофенологические данные, собранные по программам Уральского общества любителей естествознания (УОЛЕ), фенологической комиссии Всесоюзного географического общества, Русского географического общества (РГО). Исследуемая территория отличается развитой промышленностью и сельскохозяйственным освоением, влияние антропогенного фактора сказывается на ходе естественных процессов. Для изучения фенологии растений необходимо в качестве ключевых участков, расположенных в типичных условиях в пределах региона, исследовать также слабо- и неизменные природные комплексы. Поэтому в работе использованы материалы Летописей природы заповедников Урала: Басеги, Башкирского, Висимского, Вишерского, Денежкин камень, Ильменского, Печоро-Илычского, Южно-Уральского, Шульган-Таш, Шайтан-Тау и Оренбургского заповедников.

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

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

Результаты

Картографирование позволило создать динамические карты по срокам цветения черемухи в пределах ландшафтных провинций Урала в разные климатические периоды XX-XXI вв. (Рис. 1). Проанализирована динамика сроков наступления явления по периодам

потеплений и похолоданий. Результатом работы стал расчет и анализ трендов сроков наступления явления в более чем в 500 пунктах фенологической сети Урала и сопредельных территорий.

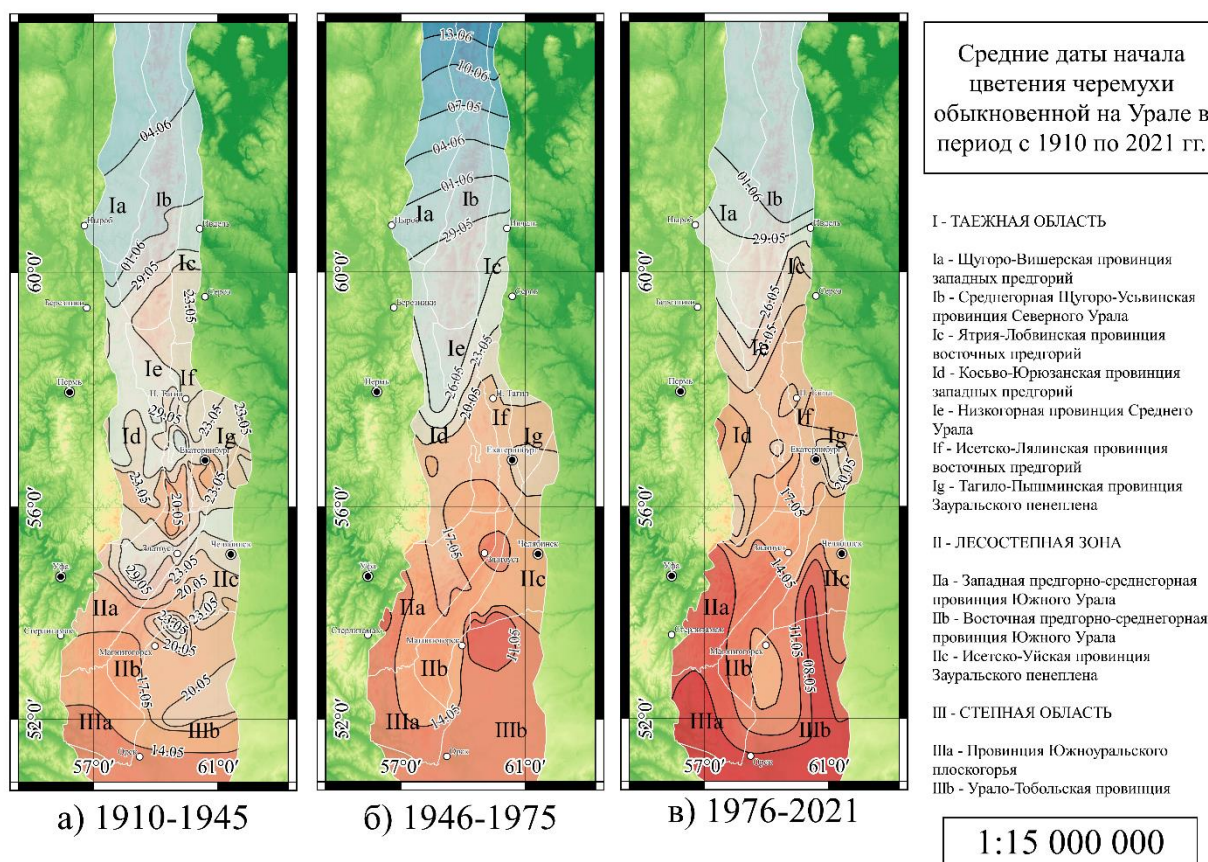


Рис. 1. Средние многолетние даты начала цветения черемухи обыкновенной по периодам потеплений и похолоданий в 20-21 вв.

Обсуждение

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

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

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

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

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

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

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

Выводы

В большинстве провинций Урала установлена линейная взаимосвязь между датами начала цветения черемухи с периодами потеплений. 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 20 века. Конфигурация и ход изолиний в большей степени отражает влияние рельефа в периоды потеплений.

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

Список литературы

1. Воробьева Т.А. Картографирование природопользования: опыт комплексных атласов / Т.А. Воробьева, Т.В. Котова, М.В. Слипенчук и др. // Наука. Инновации. Технологии. – 2020. – №1. – С. 125 – 140
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: общее резюме. Россия, М., 2014. 60 с.
3. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М. : Наука, 1984. 424 с.
4. Минин А.А., Воскова А.В. Гомеостатические реакции растений на современные изменения климата: пространственно-фенологические аспекты // Онтогенез. 2014. № 3 (45). С. 162–169.
5. Минин А. А., Кузнецова В. В., Голубева Е. И. Фенологические явления в системе биоиндикации климатических трендов // Проблемы региональной экологии. 2014. № 5. С. 66-71.
6. Минин А.А., Ранькова Э.Я., Буйволлов Ю.А., Спаельникова И.И., Филатова Т.Д. Фенологические тренды в природе центральной части Русской равнины в условиях современного потепления // Жизнь Земли том 40. 2018. № 2. С. 162-174.
7. Официальный сайт QGIS [электронный ресурс] URL: <https://qgis.org/ru/site/index.html> (дата обращения: 30.05.2022)
8. Прокаев В.И. Физико-географическое районирование : учеб. пособие для студентов пед. ин-тов. М.: Просвещение, 1983. 176 с.
9. Фенологическая сеть Русского географического общества [электронный ресурс] URL: <https://fenolog.rgo.ru/> (дата обращения: 30.04.2021)
10. Шакиров А.В. Физико-географическое районирование Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 617 с.
11. Янцер О.В., Скок Н.В. Фенологические методы исследований в изучении динамики ландшафтов: общий обзор // Вестник Башкирского университета. 2016. Том 21. №1. С. 91-100.

© Янцер О.В., Лантев Н.А., 2022

Научное издание

**ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
И ПОГОДНЫЕ АНОМАЛИИ: МЕХАНИЗМЫ И
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ
ГОМЕОСТАТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ**

Компьютерная верстка А.М. Юровских, Н.С. Братанов

Уральский государственный педагогический университет.
620017 Екатеринбург, пр-т Космонавтов, 26.
E-mail: uspu@uspu.me