

Фенологический мониторинг фитоценозов основных высотных поясов в Кавказском заповеднике с использованием метода В.А. Батманова

Ю.Н. Спасовский

Кавказский государственный природный биосферный заповедник им. Х.Г. Шапошникова,
Россия, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Советская, 187

Адрес для переписки: *b.bonasus@mail.ru*

Реферат. Сезонная динамика растительных сообществ – один из важнейших показателей, имеющих аналитическое значение для оценки состава и структуры фитоценозов и популяций животных. Актуальность изучения сезонной динамики в последние годы все более возрастает на фоне наблюдаемых тенденций, связанных с глобальным изменением климата, признаки которого активно дискутируются в последнее время.

Основная цель проведенных исследований – определить тенденции сезонного развития фитоценозов в их взаимодействии с абиотическими факторами среды в основных высотных поясах северного макросклона Кавказского заповедника.

Для осуществления поставленной цели было предложено использовать метод комплексных фенологических показателей В.А. Батманова для фенологического мониторинга растительности в лесных и луговых фитоценозах.

В статье кратко описана методика исследований, показаны результаты мониторинга фитоценозов основных высотных поясов на фенологическом профиле «Кордон Гузерипль – гора Тыбга». Дан анализ полученных результатов наблюдений в сезоне 2022 г. и отмечены основные достоинства выбранного метода для фенологических исследований в условиях Кавказского заповедника.

Ключевые слова. Фенологический профиль, фенологическая фаза, суммированная фенологическая характеристика, средний фенологический коэффициент, феноаномалия.

Phenological and monitoring of plant communities of the main high-altitude zones in the Caucasian Reserve method of V.A. Batmanov

Yu.N. Spasovsky

Caucasus State Natural Biosphere Reserve named after H.G. Shaposhnikov,
187, Sovetskaya str., 385000, Maykop, Republic of Adygea, Russian Federation

Correspondence address: *b.bonasus@mail.ru*

Abstract. Seasonal dynamics of plant communities is one of the most important indicators of analytical importance for assessing the composition and structure of plant communities and animal populations. The relevance of studying seasonal dynamics has been increasing in recent years in terms of observed trends related to global climate change, the signs of which have been actively debated recently.

The article presents the results of research, the main purpose of which is to determine the trends of seasonal development of plant communities in their interaction with abiotic environmental factors in the main altitude zones of the northern mountain macro slope of the Caucasian Reserve.

To achieve this goal, it was proposed to use the method of complex phenological indicators of V.A. Batmanov for phenological monitoring of vegetation in forest and meadow plant communities.

This publication briefly describes the methodology and shows the results of phenological monitoring of plant communities of the main high-altitude zones, on the phenological profile «the Village Guzeripl – the Mount Tybga». The assessment of the obtained results of observations in the 2022 season is given and the main advantages of the chosen method for phenological studies in the conditions of the Caucasian Reserve are noted.

Keywords. Phenological profile, phenological phase, summarized phenological characteristic, mean phenological coefficient, phenoanomaly.

Введение

В Кавказском заповеднике фенологическим наблюдениям и исследованиям всегда уделялось значительное внимание. С момента организации заповедника, с 1924 года и по настоящее время применяется система разовых (моментных) наблюдений как за растениями, так и за животными, которая фиксируется в специальной картотеке. За все годы существования заповедника накоплен значительный фактический материал, включающий в себя более 200 тыс. зафиксированных моментов сезонного развития основных видов млекопитающих и цветковых растений. В 1940-1950-х гг. применялись маршрутные методы изучения сезонной динамики растительных сообществ в зависимости от их высотного расположения, а также отдельных растительных ассоциаций. В 1950-1970-х гг. широкое развитие получили стационарные методы фенологических наблюдений за отдельными видами растений на специальных фенологических площадках. В зоологическом направлении при исследовании экологии крупных млекопитающих заповедника также осуществлялось изучение сезонных ритмов и циклов этих видов животного мира. Таким образом, на протяжении более чем 90-летней истории, в заповеднике в той или иной степени внедрялись и апробировались различные методы фенологических исследований в зависимости от поставленных целей.

Основная цель настоящих исследований – определить тенденции сезонного развития фитоценозов в их взаимодействии с абиотическими факторами среды в основных высотных поясах северного макросклона Кавказского заповедника.

Материалы и методы

В 2001 г. в перспективный План НИР заповедника был введен раздел «Фенологический мониторинг фитоценозов основных высотных поясов». При разработке системы и методов наблюдений были использованы рекомендации Г.П. Вязовской (1947), И.Н. Бейдеман (1974), Г.Э. Шульца (1981), Г.Н. Зайцева (1981).

В 2006 г. в рамках этого раздела для дальнейших исследований автор предложил применить метод комплексных фенологических показателей разработанный В.А. Батмановым (1952, 1967а, 1967б, 1972), дополненный и унифицированный М.К. Куприяновой (1982, 1995) и Е.Ю. Терентьевой (2001). Предлагалось, изучив основные положения метода, отработать его на уже заложенном фенологическом профиле, в условиях северного макросклона заповедника, и применять в дальнейшем в качестве ведущего метода фенологического мониторинга над характерными растительными сообществами.

В основе метода В.А. Батманова лежит положение о том, что вегетационный период растений включает два основных процесса (цикла): *генеративный*, связанный с развитием генеративных органов и производством потомства, и *вегетативный* в течение которого происходят сезонные изменения ассимиляционного аппарата растения первой весенней генерации. 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. Для вегетативного цикла феностандарт состоит из восьми фенофаз, для генеративного – из девяти (Терентьева, 2001). 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 г. и проходит по основным высотным поясам Пшекиш-Бамбакского геоботанического района Кавказского заповедника (Голгофская, 1967). 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 (Алтухов, 1985; Горчарук, 1992; Чумаченко, 2003; Спасовский, 2008).

Закладка фенологических площадок осуществлялась по общей методике закладки фенологических площадей (Бейдеман, 1974) и методу долговременных пробных площадей при изучении биоразнообразия лесных экосистем (Dallmeier, 1992). На местности площадки были промаркированы и зафиксированы с помощью системы GPS (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика фенологического профиля «Кордон Гузерипль – гора Тыбга»

Table 1. Description of the phenological profile « the Village Guzeripl – the Mount Tybga »

Площадка, фитоценоз	Орография, местоположение, высота над у. м.	Склон	Древостой	Кустарники	Травяной ярус
<u>ФП-1</u> – 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.
<u>ФП-2</u> – 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°	3ПК3ПК2Бк2Бк+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.
<u>ФП-3</u> – Буко-пихтарник среднетравно-овсяницевый	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.
<u>ФП-4</u> – 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°	7Бк1Б1Клв1ПК+Р подрост – 8Бк1ПК1Клв	<i>Daphne alboboviana</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..
<u>ФП-5</u> – Разнотравно-пестро-овсяницевый 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.
<u>ФП-6</u> – Разнотравно-приземисто-овсяницевый 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.

Примечание. Формулы древостоя в таблице даны в соответствии с Таксационным описанием КГПБЗ, «Воронежлеспроект», 2005 г. Основные сокращения: Бк – бук восточный; ПК – пихта кавказская; Кл – клен явор; Клв – клен высокогорный; Р – рябина.

Наблюдения проводились т.н. «*первичным описательным методом*» (Батманов, 1967а, 1972; Куприянова, 1995, 2000) 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*» (Батманов, 1967а, 1972) в том, что каждое прохождение маршрута и осмотр фитоценозов давало некий законченный результат наблюдений, который фиксировался на специальном бланке.

По рекомендациям Е.Ю. Терентьевой (2001), посещения площадок должны проводиться через 7-10 дней, однако в нашем случае они проводились в среднем один раз в 15-20 дней. Выбор такой частоты наблюдений был продиктован в первую очередь удаленностью начальной точки профиля (почти 100 км) от места нахождения исполнителя. Во-вторых, протяженностью и сложностью рельефа самого профиля, длина которого составляет 22 км, а превышение по вертикали – почти 2 км. В среднем прохождение профиля с выполнением описаний наблюдений занимает от двух до трех дней. Все это несколько снижает достоверность отдельных получаемых результатов, но мы исходили из того, что в случае использования метода В.А. Батманова мы имеем однонаправленный тренд развития фитоценозов, и наблюдения рассчитаны на долгосрочный период, что в конечном итоге сглаживает возможные отклонения при статистической обработке.

Процесс наступления той или иной фенологической фазы у разных видов подчинен закону нормального распределения (Лакин, 1968; Харин и др., 1993), 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 (Спасовский, 2013). 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 определенной фенофазе на день обследования, и есть по В.А. Батманову – «*суммированная фенологическая характеристика*» (СФХ) данного фитоценоза, которая характеризует фенологическое состояние фитоценоза в день наблюдений.

Согласно В.А. Батманову, суммированные фенологические характеристики вполне отражают характер сезонного развития растительности изучаемых фитоценозов. Впоследствии Е.Ю. Терентьева (1996, 1997, 2000) предложила целесообразным для каждой СФХ 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.

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. На основе K_{fcp} были рассчитаны значения феноаномалий по результатам наблюдений в сезоне 2022 года. Анализ феноаномалий проведен для трех фитоценозов (ФП-1, ФП-4 и ФП-6), отражающих основные высотные пояса. С помощью стандартной программы Microsoft Excel рассчитывался коэффициент корреляции Пирсона между минимальными (аналогично максимальными) значениями температуры воздуха и сезонными феноявлениями фитоценозов основных высотных поясов северного макросклона Кавказского заповедника.

Результаты

Показатели K_{fcp} позволяют 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.

В качестве примера такого анализа мы показываем выявленную динамику феноаномалий по результатам наблюдений в сезоне 2022 года. Значения фенологических коэффициентов и феноаномалий для всех фитоценозов представлены в табл. 2.

Для анализа феноаномалий вегетативного цикла мы сравнили их значения для трех фитоценозов, находящихся в пределах лесного пояса (ФП-1), верхней границы леса (ФП-4) и альпийского луга (ФП-6). Выбор этих фитоценозов продиктован тем, что они качественно отличаются друг от друга и, кроме того, отражают основные высотные пояса. Таким образом, мы сравниваем тенденции сезонного развития фитоценозов в ландшафтном приближении.

Анализ значений средних фенологических коэффициентов и феноаномалий (см. табл. 2) показывает, что весенняя динамика вегетативного цикла 2022 г. на этапе набухания листовых почек ($K_{fv} = 1.0$) в лесном поясе (ФП-1) носила явный депрессивный характер, что наглядно демонстрирует характер кривых феноаномалий (рис. 1).

Таблица 2. Сезонная динамика и феноаномалии $F(\theta)$ и $F(z)$ фенопрофиля «Кордон Гузерипль – гора Тыбга» в 2022 году

Table 2. Seasonal dynamics and phenological anomalies $F(\theta)$ и $F(z)$ of the phenological profile «the Village Guzeripl – the Mount Tybga»

	Даты наблюдений												
	26.2	9.3	22.3	17.4	30.4	19.5	7.6	22.6	7.7	29.7	21.8	27.9	15.10
Вегетативный цикл													
ФП-1													
$Kf(\theta)$ 2022	0.0	0.0	0.0	2.3	2.6	3.5	4.3	4.6	4.9	5.2	5.4	5.6	5.8
$Kf(\theta)$ ср.	0.0	1.6	2.1	2.6	2.9	3.5	4.0	4.6	5.0	5.3	5.5	5.9	6.3
$F(\theta)$ 2022	0.0	1.6	2.1	0.3	0.3	0.0	-0.3	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5
ФП-2													
$Kf(\theta)$ 2022	0.0	0.0	0.0	1.7	2.4	3.6	4.2	4.4	4.7	5.1	5.4	5.7	6.0
$Kf(\theta)$ ср.	0.0	1.1	1.7	2.4	2.9	3.5	4.0	4.5	4.9	5.2	5.5	5.9	6.3
$F(\theta)$ 2022	0.0	1.1	1.7	0.7	0.5	-0.1	-0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3
ФП-3													
$Kf(\theta)$ 2022	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	2.9	4.0	4.1	4.5	4.9	5.2	5.7	6.2
$Kf(\theta)$ ср.	0.0	1.0	1.2	1.8	2.4	3.1	3.7	4.3	4.7	5.0	5.4	6.0	6.5
$F(\theta)$ 2022	0.0	1.0	1.2	0.8	0.4	0.2	-0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3
ФП-4													
$Kf(\theta)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.3	3.5	4.3	4.7	5.0	6.1	7.2
$Kf(\theta)$ ср.	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.9	3.0	3.8	4.4	5.0	5.5	6.5	7.3
$F(\theta)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.9	-0.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.4	0.1
ФП-5													
$Kf(\theta)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	2.9	3.9	4.5	5.1	6.3	7.5
$Kf(\theta)$ ср.	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.6	2.6	3.4	4.0	4.8	5.5	6.8	7.5
$F(\theta)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.6	-0.4	0.5	0.1	0.3	0.4	0.5	0.0
ФП-6													
$Kf(\theta)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	2.3	3.1	4.2	5.2	7.3	8.0
$Kf(\theta)$ ср.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.9	3.1	4.0	4.9	5.8	7.0	7.7
$F(\theta)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.7	0.8	0.9	0.7	0.6	-0.3	-0.3
Генеративный цикл													
ФП-1													
$Kf(z)$ 2022	0.0	0.0	0.0	2.4	3.8	4.2	5.0	5.5	5.9	6.7	7.4	8.1	8.8
$Kf(z)$ ср.	0.0	1.0	1.2	2.3	3.2	4.1	4.9	5.7	6.3	6.9	7.3	8.1	8.5
$F(z)$ 2022	0.0	1.0	1.2	-0.1	-0.6	-0.1	-0.1	0.2	0.4	0.2	-0.1	0.0	-0.3

Продолжение таблицы 2

	Даты наблюдений												
	26.2	9.3	22.3	17.4	30.4	19.5	7.6	22.6	7.7	29.7	21.8	27.9	15.10
ФП-2													
$Kf(z)$ 2022	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	4.1	5.0	5.6	6.1	6.7	7.8	8.5	9.0
$Kf(z)$ ср.	0.0	1.0	1.2	2.2	3.1	4.0	4.8	5.7	6.5	7.3	7.8	8.4	8.7
$F(z)$ 2022	0.0	1.0	1.2	0.2	0.1	-0.1	-0.2	0.1	0.4	0.6	0.0	-0.1	-0.3
ФП-3													
$Kf(z)$ 2022	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.3	4.8	5.0	5.6	6.7	7.8	8.6	9.0
$Kf(z)$ ср.	0.0	0.0	1.0	1.7	2.6	3.6	4.6	5.5	6.3	7.2	7.8	8.4	8.8
$F(z)$ 2022	0.0	0.0	1.0	0.7	0.6	0.3	-0.2	0.5	0.7	0.5	0.0	-0.2	-0.2
ФП-4													
$Kf(z)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.2	3.2	3.8	4.6	5.8	6.9	8.7	9.0
$Kf(z)$ ср.	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.4	4.4	5.2	6.2	7.3	8.4	8.9
$F(z)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.2	0.6	0.6	0.4	0.4	-0.3	-0.1
ФП-5													
$Kf(z)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	3.5	3.9	5.0	6.0	8.1	9.0
$Kf(z)$ ср.	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.5	2.4	3.5	4.1	5.3	6.5	8.0	8.7
$F(z)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.5	-0.7	0.0	0.2	0.3	0.5	-0.1	-0.3
ФП-6													
$Kf(z)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.9	3.8	5.0	6.3	8.8	9.0
$Kf(z)$ ср.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.5	2.8	3.6	5.3	6.9	8.5	9.0
$F(z)$ 2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	-0.5	-0.1	-0.2	0.3	0.6	-0.3	0.0

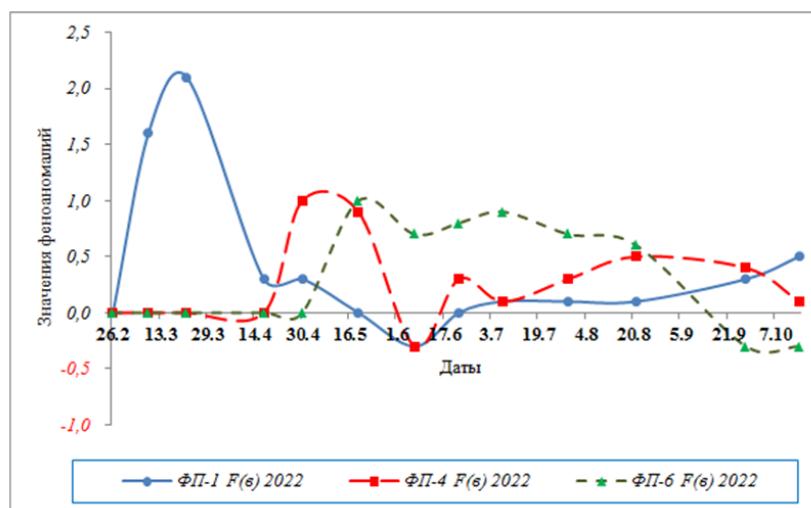


Рисунок 1. Динамика феноаномалий вегетативного цикла лесного пояса (ФП-1), верхней границы леса (ФП-4) и альпийского луга (ФП-6) в сезоне 2022 года

Figure 1. Dynamics of phenological anomalies of the vegetative cycle of the forest belt (ФП-1) of the upper border of the forest (ФП-4) and the alpine meadow (ФП-6) in the 2022 season

Начало вегетации было зафиксировано в начале первой декады апреля со значительной положительной феноаномалией, значение которой составило $F(e) = 2.1$ балла. Запаздывание начала вегетации относительно своих многолетних норм в лесном поясе определялось динамикой температур воздуха и состоянием снежного покрова в этот период. Среднемесячная температура марта, по данным метеостанции «Гузерибль», составила всего $+0.6^{\circ}\text{C}$, что на 2 градуса меньше многолетней нормы. Причем практически на протяжении всего месяца минимальные температуры воздуха не поднимались выше 0°C , а в отдельные дни даже опускались ниже -5.0°C . При этом неоднократно в течение месяца выпадал снег, средняя высота снежного покрова временами достигала 5 см. Все эти факторы и обеспечили довольно значительное запаздывание вегетации в лесном поясе.

Дальнейшее развитие весенних феноявлений протекало практически в пределах своих многолетних сроков и даже с незначительной экспрессией, которая была зафиксирована на стадии молодого листа ($K_{fv} = 4.0$) в первой декаде июня (см. табл. 2).

Вычисление корреляционной зависимости между температурами воздуха, по данным метеостанции «Гузерибль», и весенними феноявлениями фитоценозов всех площадок лесного пояса, показало высокую прямую зависимость: в среднем для минимальных температур коэффициент корреляции составил $r = 0.90$, а для максимальных $r = 0.82$.

В поясе верхней границы леса (ФП-4) начало вегетации было зафиксировано тоже с отставанием относительно своей многолетней нормы – в конце второй декады мая, значение феноаномалии составило $F(e) = 1.0$ балл. Объясняется это также динамикой температурных условий и состоянием снежного покрова. По данным метеостанции «Джуга», во всех трех декадах апреля минимальные температуры воздуха в субальпийском поясе, а равно и в поясе верхней границы леса, неоднократно были ниже 0°C . Средняя максимальная температура воздуха апреля составила $+8.0^{\circ}\text{C}$. Кроме этого всю первую половину апреля в субальпике держался устойчивый снежный покров. Отрицательные температуры воздуха сохранялись и в первой половине мая. Все это в итоге и определило отставание начала вегетации.

Дальнейшее весеннее развитие растений верхней границы леса в целом выравнивалось и протекало почти в пределах своих многолетних норм и даже с незначительной экспрессией на стадии роста листа ($K_{fv} = 3.0$), в первой декаде июня.

Вычисление корреляционной зависимости между температурами воздуха и весенними феноявлениями показало их высокую прямую зависимость: для минимальных температур коэффициент корреляции составил $r = 0.87$, а для максимальных $r = 0.67$.

Начало вегетации в альпийском фитоценозе (ФП-6) было зафиксировано тоже с отставанием относительно многолетних сроков – в первой декаде июня, со значением феноаномалии $F(e) = 1.0$ балл. По данным гигрохрона, установленного на площадке, средняя температура воздуха к концу третьей декады мая в альпийском поясе составила всего $+6.4^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха

в этот период, как уже указывалось, неоднократно опускалась ниже 0°C с минимальным значением -4.6°C , правда продолжительность заморозков не превысила пяти дней.

В последующем весеннее развитие альпийского фитоценоза протекало с отставанием относительно своих многолетних сроков. Максимальное положительное значение феноаномалии $F(\phi) = 0.9$ балла было отмечено на стадии роста листа, в первой декаде июля.

Вычисление корреляционной зависимости между температурами воздуха и весенними феноявлениями в альпийском поясе показало их тесную прямую зависимость: для минимальных температур коэффициент корреляции составил $r = 0.79$, а для максимальных $r = 0.75$.

Начало летней вегетации ($K_{fv} = 5.0$) в лесном поясе было зафиксировано в начале второй декады июля с незначительным отставанием относительно многолетних сроков, в среднем $F(\phi) = 0.1$ балла. В поясе верхней границы леса и альпийском поясе начало летнего периода наступило практически на месяц позднее – во второй декаде августа, $F(\phi) = 0.5$ балла.

Дальнейшее развитие летне-осенней вегетации во всех фитоценозах протекало с незначительным отставанием относительно своих многолетних сроков, в среднем со значением феноаномалии $F(\phi) = 0.3$ балла. Правда в альпийском поясе, в период массового отмирания ($K_{fv} = 7.0$), в конце третьей декады сентября была отмечена незначительная экспрессия со значением феноаномалии $F(\phi) = -0.3$ балла.

Вычисление корреляционной зависимости между температурами и летне-осенними феноявлениями показало тесную обратную зависимость практически во всех фитоценозах. В среднем коэффициент корреляции для минимальных температур воздуха составил $r = -0.86$, а для максимальных температур $r = -0.89$. При этом, по данным метеонаблюдений, конец лета и начало осени как в лесном поясе, так и в высокогорье были относительно мягкими в плане температурного режима. В течение всего сентября, по данным гигрохронров, минимальные суточные температуры воздуха в лесном поясе не опускались ниже $+4.6^{\circ}\text{C}$, а средняя максимальная температура воздуха составила $+19.4^{\circ}\text{C}$. В альпийском поясе лишь в конце первой декады сентября было зафиксировано незначительное понижение температуры до -0.4°C , средняя максимальная температура составила $+14.3^{\circ}\text{C}$.

В динамике весенних феноявлений генеративного цикла 2022 г. сложилась похожая картина. Судя по значениям феноаномалии, период бутонизации ($K_{fb} = 1.0$) в лесном поясе начался в конце третьей декады марта с явной депрессией – $F(\zeta) = 1.2$ балла (рис. 2). Но период цветения ($K_{fz} = 3.0$) протекал уже с явной экспрессией: начало цветения было зафиксировано в конце второй декады апреля, значение феноаномалии составило $F(\zeta) = -0.6$ балла.

Вычисление корреляционной зависимости между температурами воздуха и весенними феноявлениями генеративного цикла в лесном поясе показало также их высокую прямую зависимость, для минимальных температур коэффициент корреляции составил $r = 0.80$, а для максимальных $r = 0.77$.

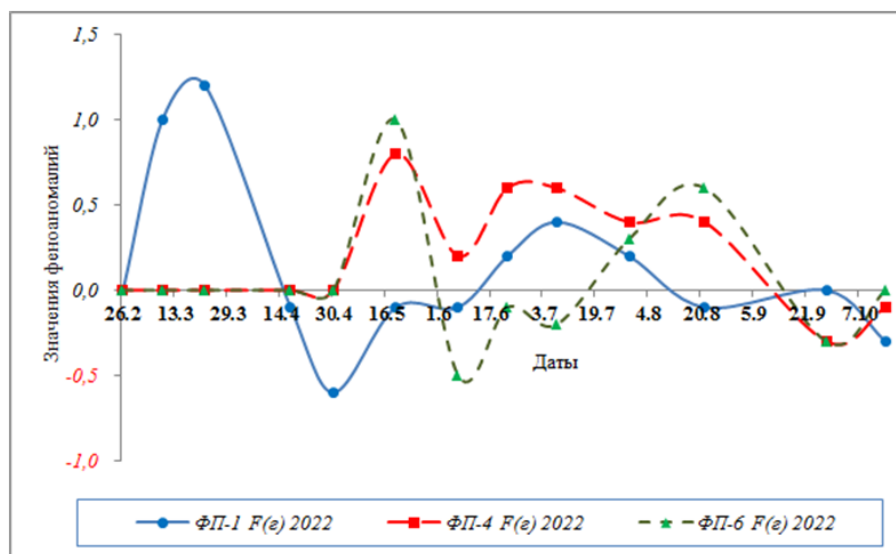


Рисунок 2. Динамика феноаномалий генеративного цикла лесного пояса (ФП-1), верхней границы леса (ФП-4) и альпийского луга (ФП-6) в сезоне 2022 года

Figure 2. Dynamics of phenological anomalies of the generative cycle of the forest belt (ФП-1) of the upper border of the forest (ФП-4) and the alpine meadow (ФП-6) in the 2022 season

В поясе верхней границы леса период бутонизации начался практически в пределах своей многолетней нормы – в конце третьей декады апреля. Однако начало цветения было зафиксировано с явным опозданием – в конце первой декады июня, значение феноаномалии составило $F(z) = 0.6$ балла.

Вычисление корреляционной зависимости между температурами воздуха и весенними феноявлениями генеративного цикла верхней границы леса показало высокую прямую зависимость для минимальных температур, здесь коэффициент корреляции составил $r = 0.90$, а для максимальных температур он оказался несколько ниже $r = 0.69$.

В альпийском поясе весеннее генеративное развитие началось с явным отставанием относительно своих многолетних сроков – в начале первой декады июня, $F(z) = 1.0$ балл. Но уже к началу цветения, которое было зафиксировано в начале третьей декады июня, была отмечена незначительная экспрессия со значением феноаномалии $F(z) = -0.2$ балла.

Вычисление корреляционной зависимости между температурами воздуха и весенними феноявлениями в генеративном цикле альпийского пояса показало их тесную прямую зависимость, так для минимальных температур коэффициент корреляции составил $r = 0.81$, а для максимальных $r = 0.76$.

Летне-осенняя динамика генеративного цикла была несколько различна в наблюдаемых фитоценозах. В лесном поясе период окончания цветения ($Kfz = 5.0$) наступил уже в первой декаде июня, практически в пределах своей многолетней нормы, $F(z) = -0.1$ балла. В поясе верхней границы леса период цветения закончился на месяц позднее – во второй декаде июля с

незначительным опозданием $F(z) = 0.6$ балла. В альпийском поясе окончание цветения наступило в конце третьей декады июля, почти в пределах своих многолетних сроков – $F(z) = 0.3$ балла.

Период созревания плодов ($Kfz = 7.0$) в лесном поясе начался в начале второй декады августа с незначительной экспрессией, в пределах своей многолетней нормы $F(z) = -0.1$ балла. В поясе верхней границы леса и в альпийском поясе период плодоношения начался практически одинаково – в третьей декаде августа, с незначительным отставанием относительно многолетних сроков, среднее значение феноаномалии составило $F(z) = 0.5$ балла.

Окончание плодоношения – опадание плодов ($Kfz = 8.0$) в лесном поясе было зафиксировано в третьей декаде сентября, т.е. в свои многолетние сроки. В верхней границе леса и в альпийском поясе этот период наступил на несколько дней раньше – в начале второй декады сентября, с незначительной экспрессией – $F(z) = -0.3$ балла, что наглядно видно по характеру кривых рис. 2.

Выявление корреляционной зависимости между летне-осенними феноявлениями и температурами воздуха для всех фитоценозов показало вполне значимую обратную зависимость. Для минимальных температур в среднем коэффициент корреляции составил $r = -0.67$, а для максимальных $r = -0.68$.

Заключение

Анализ сезонной динамики 2022 г. показал, что наибольшие отклонения от своих многолетних норм, как в вегетативном, так и в генеративном циклах, наблюдались в весенний период. Объясняется это в большей мере так называемыми «температурными качелями», особенно характерными в горных условиях в первые весенние месяцы.

В начале вегетации практически во всех фитоценозах наблюдались только положительные феноаномалии, т.е. фенологические явления наступали позднее своей многолетней нормы. Наибольшее значение положительной феноаномалии было отмечено для весеннего периода вегетативного цикла в лесном поясе, здесь значение феноаномалии достигало $F(\phi) = 2.1$ балла.

Развитие летне-осенних явлений вегетативного цикла во всех фитоценозах протекало примерно одинаково с незначительным отставанием относительно своих многолетних сроков, в среднем со значением феноаномалии $F(\phi) = 0.3$ балла. А завершение летней вегетации протекало с небольшим опережением своей многолетней нормы, максимальное значение феноаномалии наблюдалось в альпийском поясе $F(\phi) = -0.3$ балла.

Весенний период в генеративном цикле был аналогичен вегетативному циклу. В лесном поясе на начальном этапе также наблюдалось депрессивное развитие со значением феноаномалии $F(z) = 1.2$ балла. Развитие растений верхней границы леса началось практически в свои многолетние сроки, а в альпийском поясе наблюдалось значительное отставание, $F(z) = 1.0$ балл.

Динамика летне-осенних явлений генеративного цикла в разных высотных поясах была неодинакова. Окончание цветения в лесном поясе и в альпийском наступило практически в пределах своей многолетней нормы. В верхней гра-

нице леса оно протекало с явной депрессией, здесь значение феноаномалии составило $F(z) = 0.6$ балла. Созревание плодов и окончание плодоношения в лесном поясе протекало в пределах своих многолетних сроков. А в верхней границе леса и в альпийском поясе оно незначительно отставало в среднем на $F(z) = 0.4$ балла. При этом окончание плодоношения в альпийском поясе протекало даже с незначительной экспрессией, $F(z) = -0.3$ балла.

Выявление корреляционной зависимости между сезонными явлениями и суточными температурами воздуха показало их наиболее тесную прямую зависимость в весенний период. Во всех высотных поясах среднее значение коэффициента корреляции вегетативного цикла для минимальных температур составило $r = 0.85$, а для максимальных $r = 0.77$. В генеративном цикле средние значения коэффициентов были соответственно $r = 0.84$ и $r = 0.74$.

Подводя итог, можно с определенной уверенностью сказать, что метод комплексных фенологических показателей В.А. Батманова наиболее приемлем для ведения фенологического мониторинга в условиях Кавказского заповедника. Метод отличается относительная простота 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, будучи выраженным по каждому процессу всего одним числом, соответственно поддается математической обработке (Спасовский, 2013). Однонаправленность показателей дает возможность отслеживать тенденции фенологических изменений растительного сообщества во времени и пространстве (определять фенологическую 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

Алтухов, М.Д. (1985) *Растительный покров высокогорий Северо-Западного Кавказа, его рациональное использование и охрана*, дис. ... д.б.н., Майкоп, Адыг. гос. пед. институт, 400 с.

Батманов, В.А. (1952) *Календарь природы Свердловска и его окрестностей*, Свердловск, Свердл. обл. гос. изд., 98 с.

Батманов, В.А. (1967а) К методике осенних фенологических наблюдений за окрашиванием листвы и листопадом, *Ритмы природы Сибири и Дальнего*

Востока, ч. 1, Иркутск, Сибирское книжное изд., с. 122-128.

Батманов, В.А. (1967) Заметки по теории фенологических наблюдений, *Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока*, ч. 1, Иркутск, Сибирское книжное изд., с. 7-30.

Батманов, В.А. (1972) Об использовании вариационной статистики в фенологических исследованиях, *Вопросы фенологического картирования*, Л., Гидромет. изд., с. 90-96.

Бейдеман, И.Н. (1974) *Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ*, Новосибирск, Наука, 154 с.

Вязовская, Г.П. (1947) Вертикальная изменчивость растительного и флористического состава Кавказского заповедника, *Отчет о НИИР (заключ.)*, Кавказский гос. заповедник, Инв. № 154, Майкоп, 50 с.

Голгофская, К.Ю. (1967) К дробному геоботаническому районированию Кавказского заповедника, *Труды Кавказского государственного заповедника*, вып. 9, М., с. 119-157.

Горчарук, Л.Г. (1992) *Горно-лесные почвы Западного Кавказа*, Депонированная рукопись, ВНИИ ТЭНагропром, М., 234 с.

Зайцев, Г.Н. (1981) *Фенология древесных растений*, М., Наука, 120 с.

Куприянова, М.К., Щенникова, З.К. (1982) Использование описательных методов для изучения сезонной динамики горных природных комплексов, *Сезонная ритмика природы горных областей*, Л., Сев.-Зап. книж. изд., с. 55-57.

Куприянова, М.К. (1995) Научное наследие В.А. Батманова, *Изв. РГО.*, т. 127, вып. 1, с. 14-23.

Куприянова, М.К., Новожинов, Ю.И., Щенникова, З.Г. (2000) *Фенологические наблюдения во внеклассной работе*, Екатеринбург, Банк культурной информации, 244 с.

Лакин, Г.Ф. (1968) *Биометрия*, М., изд. «Высшая школа», 284 с.

Спасовский, Ю.Н. (2008) Фенологический мониторинг основных фитоценозов Кавказского заповедника, *Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника*, вып. 18, Майкоп, ООО «Качество», с. 246-268.

Спасовский, Ю.Н. (2013) Использование метода комплексных фенологических показателей в фенологическом мониторинге Кавказского заповедника, *Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника*, вып. 20, Майкоп, типография «Графика», с. 242-257.

Терентьева, Е.Ю. (1996) Повышение информативности фитофенологических спектров с помощью интегрального описательного метода В.А. Батманова при проведении наблюдений в заповедниках, *Проблемы заповедного дела. 25 лет Висимскому заповеднику, труды научной конференции*, Екатеринбург, изд. «Екатеринбург», с. 103-105.

Терентьева, Е.Ю. (1997) Использование комплексных фенологических характеристик в ландшафтных исследованиях, *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.

Терентьева, Е.Ю. (2000) Сезонный мониторинг растительности через суммированные фенологические характеристики фитоценозов, *Актуальные проблемы регионального, географического, экологического и биологического образования, труды региональной научно-практической конференции*, Екатеринбург, изд. УрГПУ, с. 116-117.

Терентьева, Е.Ю. (2001) *Комплексные фенологические показатели фитоценозов и их использование при организации феномониторинга*, дис. ... к.б.н., Екатеринбург, Уральский. гос. пед. университет, 177 с.

Харин, Н.Г., Кирильцева, А.А., Грингоф, И.Г. (1993) *Сезонные явления природы: Методы фенологических наблюдений*, С-Пб., Гидрометеиздат, 136 с.

Чумаченко, Ю.А. (2003) Горно-луговые почвы Кавказского заповедника, *Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника. 80 лет Кавказскому заповеднику – путь от Великокняжеской охоты до Всемирного природного наследия*, Юбилейный, вып. 17, Сочи, Проспект, с. 122-146.

Шульц, Г.Э. (1981) *Общая фенология*, Л., Наука, 188 с

Dallmeier, F. (Ed.) (1992) Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas: methods for establishment and inventory of permanent plots, *MAB Digest II*, UNESCO, Paris, 72 p.

References

Altuhov, M.D. (1985) *Rastitel'nyj pokrov vysokogorij Severo-Zapadnogo Kavkaza, ego racional'noe ispol'zovanie i ohrana* [Vegetation cover of the highlands of the North-Western Caucasus, its rational use and protection], Doctor's thesis, Majkop, Russia, 400 p.

Batmanov, V.A. (1952) *Kalendar' prirody Sverdlovsk i ego okrestnostej* [Nature calendar of Sverdlovsk and its environs Sverdlovsk], Sverdlovsk, Russia, 98 p.

Batmanov, V.A. (1967a) К методике осенних фенологических наблюдений за окрашиванием листвы и листопадом [On the methodology of autumn phenological observations of foliage staining and leaf fall], *Ritmy prirody Sibiri i Dal'nego Vostoka*, vol. 1, Irkutsk, Russia, pp. 122-128.

Batmanov, V.A. (1967b) *Zametki po teorii fenologicheskikh nablyudenij* [Notes on the theory of phenological observations], *Ritmy prirody Sibiri i Dal'nego Vostoka*, vol. 1, Irkutsk, Russia, pp. 7-30.

Batmanov, V.A. (1972) *Ob ispol'zovanii variacionnoj statistiki v fenologicheskikh issledovaniyah* [On the use of variation statistics in phonological research], *Voprosy fenologicheskogo kartirovaniya*, Leningrad, Russia, pp. 90-96.

Bejdeman, I.N. (1974) *Metodika izucheniya fenologii rastenij i rastitel'nyh soobshchestv* [Methods of studying the phenology of plants and plant communities], Novosibirsk, Russia, 154 p.

Butorina, T.N., Krutovskaya, E.A. (1958) Korrelyaciya nekotoryh fenoindikatorov s temperaturoj [Correlation of some phenomenon indicators with temperature], *Trudy gosudarstvennogo zapovednika «Stolby»*, vol. 2, Krasnoyarsk, Russia, pp. 10-32.

Vyazovskaya, G.P. (1947) Vertikal'naya izmenchivost' rastitel'nogo i floristicheskogo sostava Kavkazskogo zapovednika [Vertical variability of the plant and floral composition of the Caucasian Reserve], *Otchet o NIR (zaklyuch)*, *Kavkazskij gos. zapovednik*, no. 154, Majkop, Russia, 50 p.

Golgofskaya, K.Yu. (1967) K drobnomu geobotanicheskomu rajonirovaniyu Kavkazskogo zapovednika [Towards fractional geobotanical zoning of the Caucasian Reserve], *Trudy Kavkazskogo gosudarstvennogo zapovednika*, vol. 9, Majkop, Russia, pp. 119-157.

Gorcharuk, L.G. (1992) *Gorno-lesnye pochvy Zapadnogo Kavkaza* [Mountain-forest soils of the Western Caucasus], *Deponirovannaya rukopis'* [Deposited manuscript], Majkop, Russia, 234 p.

Zajcev, G.N. (1981) *Fenologiya drevesnyh rastenij* [Phenology of woody plants], Majkop, Russia, 120 p.

Kupriyanova, M.K., Shchennikova, Z.K. (1982) Ispol'zovanie opisatel'nyh metodov dlya izucheniya sezonnoj dinamiki gornyh prirodnyh kompleksov [The use of descriptive methods to study the seasonal dynamics of mountain natural complexes], *Sezonnaya ritmika prirody gornyh oblastej*, Leningrad, Russia, pp. 55-57.

Kupriyanova, M.K. (1995) Nauchnoe nasledie V.A. Batmanova [Scientific heritage of V.A. Batmanov], *Izv. RGO*, vol. 127, no. 1, pp. 14-23.

Kupriyanova, M.K., Novozhenov, Yu.I., Shchennikova, Z.G. (2000) *Fenologicheskie nablyudeniya vo vneklassnoj rabote* [Phenological observations in extracurricular activities], Ekaterinburg, Russia, 244 p.

Lakin, G.F. (1968) *Biometriya* [The biometrics], Moscow, Russia, 284 p.

Spasovskij, Yu.N. (2008) Fenologicheskij monitoring osnovnyh fitocenzov Kavkazskogo zapovednika [Phenological monitoring of the main phytocenoses of the Caucasian Reserve], *Trudy Kavkazskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika*, vol. 18, Majkop, Russia, pp. 246-268.

Spasovskij, Yu.N. (2013) Ispol'zovanie metoda kompleksnyh fenologicheskikh pokazatelej v fenologicheskom monitoringe Kavkazskogo zapovednika [Using the method of complex phenological indicators in the phenological monitoring of the Caucasian Reserve], *Trudy Kavkazskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika*, vol. 20, Majkop, Russia, pp. 242-257.

Terent'eva, E.Yu. (1996) Povyshenie informativnosti fitofenologicheskikh spektrov s pomoshch'yu integral'nogo opisatel'nogo metoda V.A.Batmanova pri provedenii nablyudenij v zapovednikah [Increasing the informativeness of phytophenological spectra using the integral descriptive method of V.A.Batmanov when conducting observations in nature reserves], *Problemy zapovednogo dela. 25 let Visimskomu zapovedniku: materialy nauchnoj konferencii*, Ekaterinburg, Russia, pp. 103-105.

Terent'eva, E.Yu. (1997) Ispol'zovanie kompleksnykh fenologicheskikh harakteristik v landshaftnykh issledovaniyakh [The use of complex phenological characteristics in landscape studies], *Aktual'nye problemy ekologo-geograficheskogo izucheniya Urala dlya celej optimizacii prirodnopol'zovaniya i regionalizacii obrazovaniya, tezisy dokladov nauchno-prakticheskoy konferencii*, Ekaterinburg, Russia, pp. 48-50.

Terent'eva, E.Yu. (2000) Sezonnyj monitoring rastitel'nosti cherez summirovannyye fenologicheskie harakteristiki fitocенозов [Seasonal vegetation monitoring through summarized phenological characteristics of phytocenoses], *Aktual'nye problemy regional'nogo, geograficheskogo, ekologicheskogo i biologicheskogo obrazovaniya, materialy regional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Ekaterinburg, Russia, pp. 116-117.

Terent'eva, E.Yu. (2001) *Kompleksnyye fenologicheskie pokazateli fitocенозов i ih ispol'zovanie pri organizacii fenomonitoringa* [Complex phenological indicators of phytocenoses and their use in the organization of phenomonitoring], Candidate's thesis, Ekaterinburg, Russia, 177 p.

Harin, N.G., Kiril'ceva, A.A., Gringof, I.G. (1993) *Sezonnye yavleniya prirody: Metody fenologicheskikh nablyudenij* [Seasonal natural phenomena: Methods of phenological observations], St.Petersburg, Russia, 136 p.

Chumachenko, Yu.A. (2003) Gorno-lugovye pochvy Kavkazskogo zapovednika [Mountain-meadow soils of the Caucasian Reserve], *Trudy Kavkazskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika: 80 let Kavkazskomu zapovedniku — put' ot Velikoknyazheskoj ohoty do Vsemirnogo prirodnogo naslediya*, the jubilee vol. 17, Sochi, Russia, pp. 122-146.

Shul'c, G.E. (1981) *Obshchaya fenologiya* [The general phenology], Leningrad, Russia, 188 p.

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.

Поступила в редакцию: 11.11.2022.

Доработана после рецензирования: 04.05.2023.

Для цитирования / For citation:

Спасовский, Ю.Н (2023) Фенологический мониторинг фитоценозов основных высотных поясов в Кавказском заповеднике с использованием метода В.А. Батманова, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXIV, № 1-2, с. 110-127, doi: 10.21513/0207-2564-2023-1-2-110-127.

Spasovsky, Yu. N. (2023) Phenological and monitoring of plant communities of the main high-altitude zones in the Caucasian Reserve method of V.A. Batmanov, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXIV, no. 1-2, pp. 110-127, doi: 10.21513/0207-2564-2022-1-2-110-127.