

Анализ многолетних фитофенологических данных на Сеймчанском участке заповедника "Магаданский"

Н.В. Синельникова^{1)*}, *М.А. Орехова*²⁾, *М.Н. Пахомов*¹⁾

¹⁾ Институт биологических проблем Севера ДВО РАН,
685000, Россия, Магадан, ул. Портовая, 18

²⁾ Государственный природный заповедник "Магаданский",
Россия, 685030, Магадан, ул. Кольцевая, д. 17;

* адрес для переписки: meks_mag@mail.ru, orekhova@magterra.ru

Реферат. Проанализированы особенности фенологического развития растений на Сеймчанском участке ФГБУ "Государственного природного заповедника "Магаданский". Динамика сроков наступления фенологических явлений и их зависимость от климатических показателей характеризуют реакцию растений на современное потепление климата, что определяет актуальность исследований. Целью данной работы является анализ трендов фенологических дат фоновых видов биоценозов Сеймчанского участка заповедника за 1991-2012 гг. (период современного глобального потепления) и климатических показателей за тот же период. В задачи исследований входило обобщение данных и определение многолетних изменений в датах наступления фенологических явлений. Проведенный анализ показал, что однозначной реакции растений на потепление климата в целом не наблюдается, а наступление летних и осенних фенофаз характеризуется как значимыми трендами, так и отсутствием таковых. Получены достоверные тренды опережения дат раннелетних (начала цветения у березы плосколистной, черемухи обыкновенной, смородины дикуши и печальной) и осенних явлений (массового расцветивания листьев у лиственницы Каяндера, окончания листопада у березы плосколистной и начала созревания брусники). Существенно повысилась теплообеспеченность вегетационного периода, а также произошли значительные изменения в сроках наступления летних и некоторых осенних фенофаз у отдельных видов растений за период 1991-2012 гг. Полученные данные могут быть использованы при организации фенологического мониторинга на территории Северо-Востока России и в заповедниках Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Ключевые слова. Фенология, Колыма, заповедник, изменение климата.

Analysis of long-term phenological data in the Seimchan area of Magadan state reserve

N.V. Sinelnikova^{1)*}, *M.A. Orekhova*²⁾, *M.N. Pakhomov*¹⁾

¹⁾Institute of Biological problems of the North, FEB RAS,
18, Portovaya str., 685000, Magadan, Russian Federation

²⁾Magadan State Reserve,
17, Koltsevaya str., 685030, Magadan, Russian Federation

*Corresponding author: *meks_mag@mail.ru*, *orekhova@magterra.ru*

Abstract. The paper addresses long-term phenological and climatic trends for the typical group of taiga plants in the Seimchan area of Magadan State Reserve. The study is based on the multi-year phenological observations for the period of 1991-2012 (the most intense global warming period). The bias of phenological trends and the analysis of synchronous fluctuations of the timing of phenological events show certain changes, caused by the warming of local climate. The analysis of trends demonstrates significant increase of the length of growing season active temperature (281.2°C). Significant shifts in the timing of summer (onset of flowering for *Betula platyphylla*, *Padus avium*, *Ribes dikuscha*, *R. triste*) and autumn phenological events (the colouring of leaves for *Larix cajanderi*, end of the leaf-fall phase for *Betula platyphylla* and ripening of fruits for *Vaccinium vitis-idaea*) can be observed. The current global warming affects the phenology of all taiga species, but some of them demonstrate no significant trends in their phenological dates or weak positive values of the linear trend coefficient. This demonstrates the work of adaptation mechanisms of plants in response to the climate change.

Keywords. Phenology, Kolyma, national reserve, climate change.

Введение

Изучение последствий глобального изменения климата для биоты имеет значительный теоретический и практический интерес. Фенологические реакции растений – одни из наиболее заметных проявлений этих процессов, что определяет актуальность исследований колебаний сроков наступления фенодат и их зависимость от показателей местного климата. Материалы фенологических наблюдений на заповедных территориях являются не только составной частью фонового мониторинга, но и служат для изучения пространственно-временных закономерностей состояния окружающей среды (Минин, 2000; Минин и др., 2019, 2020; Сапельникова, 2015; Соловьев, 2005; Geng et al., 2020; Menzel, 2002; Ovaskainen et al., 2020).

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный природный заповедник "Магаданский" включает множество уникальных объектов, находящихся в нескольких природно-климатических зонах Крайнего

Северо-Востока России. Территория заповедника состоит из 14 не граничащих друг с другом участков, разбросанных между долиной Колымы и северным побережьем Охотского моря (Растительный..., 2011).

Целью данной работы служит анализ трендов фенологических дат фоновых видов биоценозов Сеймчанского участка заповедника за период 1991-2012 гг. (период современного глобального потепления) и климатических показателей за тот же период. В задачи исследований входило обобщение данных и определение многолетних изменений в датах наступления фенологических явлений, а также характеристика трендов климатических показателей. Авторы не ставили задачу сравнения полученных результатов с аналогичными исследованиями в других регионах, поскольку имеющиеся ряды нуждаются в дополнении новыми климатическими и фенологическими данными.

Сеймчанский участок госзаповедника "Магаданский" находится в долине верхнего течения Колымы, его протяженность с юго-запада на северо-восток составляет 40 км, ширина – около 33 км. На участке действуют три кордона – "Верхний", "Средний" и "Нижний". Кордоны заповедника расположены на высокой пойме правого берега Колымы в сходных природно-климатических условиях на расстоянии около 20 км друг от друга. Верхний кордон удален от ближайшего населенного пункта – пос. Сеймчан Среднеканского района Магаданской области – на 110 км по реке (рис. 1) (Растительный..., 2011).

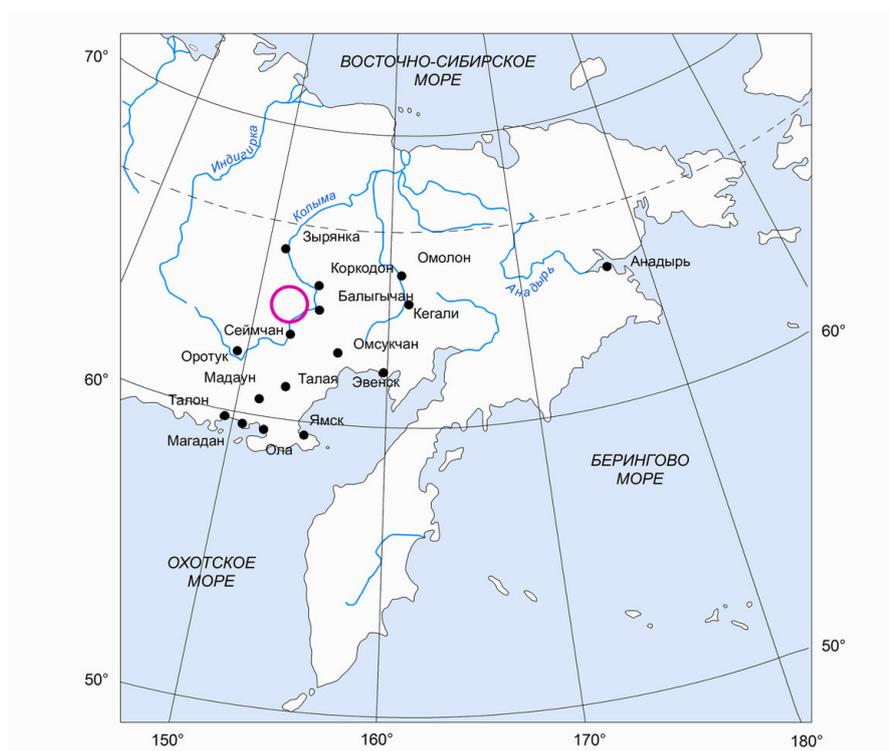


Рисунок 1. Район исследований – Сеймчанский участок заповедника "Магаданский" (на карте обозначен кружком)

Picture 1. Research area is the Seimchansky site of the "Magadansky" nature reserve (marked with a circle on the map)

На участке сохраняется разнообразие пойменных и долинных ландшафтов верхнего течения Колымы, водно-болотных угодий и зональных лиственничных редколесий среднегорий. Крайнюю озабоченность вызывает состояние уникальных пойменных лесов, которые деградируют в связи с зарегулированием стока плотинами каскада Колымских ГЭС (Михайлов, 2003; Алфимов, Берман, 2014).

Методы и материалы

Фенологический мониторинг на Сеймчанском участке госзаповедника "Магаданский" проводится с 1985 г. по установленным методикам (Шульц, 1981; Фенологические..., 1982; Филонов, Нухимовская, 1985). Для наблюдений за сезонным развитием растений были выбраны фоновые виды лесного пояса, широко распространенные в Магаданской области и на Крайнем Северо-Востоке в целом. Число лет наблюдений за отдельными фенологическими фазами составляет от 6 до 28 лет, что позволяет вести полноценную статистическую обработку данных.

Заповедная территория расположена в пойме Колымы и на ее надпойменных террасах в пределах Балыгычан-Суксуканской межгорной впадины и орографически относится к Охотско-Колымскому нагорью (Шило, 1970). Долина Колымы состоит из пойменных островов нескольких уровней: низкая (до 0.5 м), средняя (0.5-1.0 м), высокая (1.0-2.5 м), старая (3.0-3.5 м) и трех надпойменных террас, из которых только первая сохраняет флювиальный мезорельеф (Мажитова, 1991; Экологические..., 1982).

Бассейн верхнего течения Колымы лежит в области континентального климата Северной Азии с длительной холодной зимой и коротким теплым летом (Клюкин, 1970). По данным метеостанции Сеймчан (62°55'N, 152°25'E) среднегодовая температура воздуха на участке составляет -10.3°C, средняя температура января -37.7°C (рис. 2). Холодный период начинается в последних числах сентября и заканчивается в начале мая. Весной переход среднесуточной температуры через 0°C отмечается 3 мая, осенью – 27 сентября. Наиболее теплый месяц – июль, средняя температура месяца составляет около 16.9°C (Информационная..., 2021). Район отличается наиболее высокой теплообеспеченностью на всем Крайнем Северо-Востоке России – сумма среднесуточных температур выше 5°C – 1601.8°C. Годовое количество осадков – 310 мм. Около 60% этой суммы выпадает зимой в виде снега. Долинные озера замерзают в начале октября, а на русле Колымы ледовый покров устанавливается в середине октября. Максимальная глубина снежного покрова достигает 55-65 см, а толщина льда на реке – 1-1.2 м. Вскрытие реки происходит в середине мая, ледоход наблюдается в период с 16 по 26 мая, весенний паводок продолжается до середины июня (Иогансен, Кузнецов, 1970). Во второй половине лета нередко случаются дождевые паводки (от 6 до 8 ежегодно), но их пики обычно "срезаются" водохранилищем Колымской ГЭС. На территории Верхнеколымского нагорья повсеместно распространена многолетняя мерзлота. Среди сплошных массивов многолетнемерзлых пород под влиянием русло-

вого потока образуются таликовые зоны, мощность которых пропорциональна силе потока и фильтрационной способности аллювия. Вдоль поймы Колымы в пределах заповедного участка проходит крупнейший в мире подрусловой талик шириной 5-6 км (Михайлов, 2003).

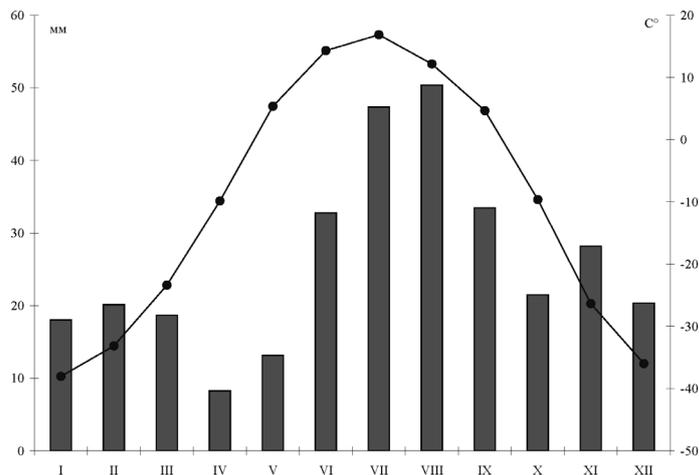


Рисунок 2. Климатограмма метеостанции "Сеймчан" (1935-2012)

Picture 2. Climatogram of the "Seimchan" weather station (1935-2012)

Основная часть прилегающей к долине заповедной территории занята горной тайгой, заболоченными лиственничными рединами, свежими и зарастающими гарями, осоковыми кочкарниками и зарослями кустарниковой березы. На островах поймы высокого уровня и на первой надпойменной террасе распространены лиственничные и березово-лиственничные леса с развитым подлеском. На второй надпойменной террасе преобладают осоково-кустарничковые лиственничные гары в комплексе с осоково-сфагновыми болотами, а поверхность третьей надпойменной террасы покрывают сфагново-осоковые лиственничные гары (Растительный..., 2011).

В качестве исходного материала использованы данные "Летописи природы" за 1985-2019 гг. и архив госзаповедника "Магаданский", в сборе которых в разное время принимали участие технические сотрудники и работники лесной охраны (Андреев А.А., Аммосов Г.С., Аммосов В.С., Аммосов С.И., Баковкина И.П., Баковкин Н.В., Бута Г.М., Винокуров И.С., Волокитин В.А., Волокитин В.В., Евтушенко Е.С., Козмарев А.В., Мостовский Ю.М., Паршин Ю.И., Паршин А.И., Серкин В.В., Шмелев В.Н. и др.) (Летопись..., 1983-2019). При сборе данных сотрудники руководствовались инструкциями, разработанными руководством заповедника на основе методического пособия по составлению Летописи природы (Филонов, Нухимовская, 1985).

Для анализа были отобраны 79 наиболее полных и достоверных рядов многолетних фенологических наблюдений на трех кордонах заповедника. К сожалению, начиная с 2013 г. число наблюдений сократилось, появились пропуски, поэтому материалы 2013-2019 гг. в данном исследовании не использовались. Не удалось также проанализировать данные по глубине снежного покрова, датам его разрушения и запасам воды в снеге (за 1992-2012 гг.), которые несомненно значимы для изучения весенних явлений (Методы..., 2012). Разница в сроках развития растений на разных кордонах не превышает погрешности, приносимой возможными отличиями в интервале наблюдений и субъективностью при оценке фенодат, что дает возможность составить общие многолетние ряды.

Поскольку регулярные метеорологические наблюдения на кордонах заповедника не проводились, то в качестве источника климатических данных (1935-2012 гг.) использованы материалы ближайшей длиннорядной метеостанции – ГМС "Сеймчан", которая работает по 8-срочной программе.

Объектами исследований служили фоновые виды растений зоны лиственничных редколесий, характерные для различных биотопов участка заповедника. В пойменных лесах – береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukaczew), тополь душистый (*Populus suaveolens* Fisch.), смородина печальная (*Ribes triste* Pall), смородина-дикуша (*Ribes dikuscha* Fisch. ex Turcz.), шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.), чозения толокнянколистная (*Chosenia arbutifolia* (Pall.) A. Skvorts.); в лиственничных редколесьях надпойменных террас – береза тощая (*Betula exilis* Sukaczew), голубика (*Vaccinium uliginosum* L., лиственница Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr), ольха кустарниковая (*Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar); на гривах надпойменных террас и склонах – багульник стелющийся (*Ledum decumbens* (Aiton) Lodd. ex Steud.), кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.); на сфагновых болотах в старичных понижениях – морошка (*Rubus chamaemorus* L.).

Статистическая обработка климатических и фенологических данных проведена с помощью программы EXCEL 6.0 и STATISTICA 6.0. Даты наступления основных фенофаз приводятся в соответствии с международной кодировкой фенологических фаз растений – ВВСН (Growth stages..., 1997) (табл. 1). Начало отсчета непрерывной фенологической шкалы принято от 1 января. Результаты статистического анализа представлены в виде оценок линейных трендов, статистическая достоверность которых определялась по критерию Фишера как достоверность линейной регрессии. Среднемноголетние фенодаты рассчитывались для всего периода наблюдений с 1985 по 2012 гг., но для расчета трендов, в соответствии с методикой Всемирной Метеорологической организации, брался период с 1991 по 2012 гг. (Второй..., 2014).

Таблица 1. Даты наступления фенологических фаз у растений

Table 1. Phenological phases onset dates in plant

Фенофаза	Дата наступления				Феноампли- туда, дни **	Сумма среднесуточ- ных температур > 5°C	Сумма температур > 10°C	Число лет наблюдений	Номер стадии по шкале ВВСН
	ран- няя	позд- няя	сред- няя	±SE*					
ЛЕТНЕЗЕЛЕННЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ									
Береза плосколистная (<i>Betula platyphylla</i> Sukaczew)									
Набухание почек	25.04	24.05	7.05	2.1	28	3.3 ± 1.3	0.6 ± 0.2	19	01
Начало сокодвижения	10.05	30.05	20.05	1.3	19	40.2 ± 3.9	11.2 ± 1.6	22	-
Распускание почек	10.05	1.06	22.05	1.1	21	50.8 ± 3.8	19.5 ± 3.7	28	09
Начало распускания листьев	19.05	11.06	29.05	1.1	22	112.9 ± 5.5	50.5 ± 5.2	28	11
Начало цветения (пыления)	18.05	7.06	29.05	1.4	19	127.1 ± 6.2	61.1 ± 6.0	18	60
Начало расцветивания листьев	9.08	26.08	17.08	1.0	17	1347.1 ± 25.4	885.4 ± 22.2	18	92
Массовое расцветивание листьев	26.08	9.09	30.08	0.7	15	1483.9 ± 29.0	958.4 ± 24.0	18	95
Начало листопада	20.08	10.09	28.08	1.7	20	1503.2 ± 40.7	977.6 ± 29.4	13	93
Полный опад листьев	3.09	29.09	13.09	1.7	25	1585.0 ± 33.3	1003.9 ± 25.5	18	97
Береза тощая (<i>Betula exilis</i> Sukaczew)									
Начало расцветивания листьев	7.08	20.08	15.08	2.0	13	1268.7 ± 40.0	815.4 ± 32.5	6	92
Голубика (<i>Vaccinium uliginosum</i> L.)									
Начало цветения	4.06	22.06	10.06	0.9	17	279.8 ± 11.5	153.8 ± 8.7	23	61
Завязывание плодов	14.06	6.07	23.06	1.3	22	464.3 ± 17.7	275.0 ± 12.3	20	71
Начало созревания плодов	12.07	25.07	19.07	1.1	14	906.8 ± 22.2	581.5 ± 15.6	16	81
Массовое созревание плодов	10.07	7.08	27.07	1.4	28	1023.4 ± 25.7	667.6 ± 18.9	25	89
Лиственница Каяндера (<i>Larix cajanderi</i> Mayr)									
Распускание почек	10.05	28.05	19.05	0.8	18	35.8 ± 4.0	11.4 ± 1.8	28	09
Начало распускания листьев	17.05	1.06	25.05	0.7	16	81.6 ± 6.6	33.5 ± 4.3	28	11
Полное облиствение	29.05	13.06	6.06	0.9	15	211.5 ± 12.6	108.7 ± 9.2	25	19
Начало расцветивания листьев	12.08	28.08	21.08	0.8	15	1357.2 ± 27.7	880.8 ± 22.9	28	92
Массовое расцветивание листьев	25.08	14.09	5.09	0.9	21	1482.4 ± 30.5	939.7 ± 24.2	28	95
Начало листопада	27.08	11.09	5.09	0.6	15	1484.2 ± 27.3	941.3 ± 23.0	28	93
Тополь душистый (<i>Populus suaveolens</i> Fisch.)									
Распускание почек	12.05	30.05	19.05	1.6	18	51.3 ± 5.0	24.4 ± 7.3	13	09
Начало распускания листьев	18.05	4.06	25.05	1.3	16	101.1 ± 6.7	49.4 ± 8.5	13	11
Начало расцветивания листьев	8.08	27.08	18.08	2.2	19	1392.3 ± 61.4	916.5 ± 43.8	10	92

Начало листопада	21.08	7.09	31.08	1.9	17	1548.9 ± 49.3	1006.1 ± 35.5	11	93
Смородина печальная (<i>Ribes triste</i> Pall.)									
Распускание почек	12.05	5.06	23.05	1.1	24	62.1 ± 3.5	24.4 ± 4.1	27	09
Начало распускания листьев	18.05	8.06	28.05	0.9	20	103.3 ± 4.8	45.2 ± 4.4	27	11
Начало цветения	20.05	12.06	2.06	1.0	22	156.7 ± 6.5	75.0 ± 4.8	27	60
Завязывание плодов	3.06	19.06	10.06	1.2	17	303.4 ± 11.5	168.1 ± 8.3	13	75
Образование плодов	8.06	5.07	20.06	1.5	27	397.7 ± 18.2	229.7 ± 12.9	21	79
Начало созревания плодов	9.07	26.07	17.07	1.0	17	862.9 ± 19.2	558.3 ± 15.6	27	81
Массовое созревание плодов	16.07	16.08	29.07	1.2	30	1061.2 ± 25.5	695.5 ± 20.4	27	87
Смородина-дикуша (<i>Ribes dikuscha</i> Fisch. ex Turcz.)									
Распускание почек	11.05	29.05	21.05	1.2	17	57.6 ± 5.1	21.6 ± 3.5	20	09
Распускание листьев	23.05	6.06	30.05	1.1	14	138.0 ± 9.4	66.7 ± 7.3	20	11
Начало цветения	27.05	21.06	8.06	1.0	24	236.3 ± 7.4	126.4 ± 6.7	27	60
Начало созревания плодов	10.07	7.08	23.07	1.3	28	944.1 ± 21.7	611.7 ± 17.0	27	81
Массовое созревание плодов	28.07	14.08	5.08	0.9	17	1155.5 ± 19.1	758.9 ± 17.5	27	89
Шиповник иглистый (<i>Rosa acicularis</i> Lindl.)									
Начало распускания листьев	22.05	10.06	30.05	1.0	18	130.1 ± 8.1	60.8 ± 5.9	27	11
Начало цветения	8.06	27.06	17.06	0.9	19	363.2 ± 12.7	205.8 ± 8.7	28	61
Массовое цветение	13.06	7.07	23.06	1.1	24	460.4 ± 13.9	271.9 ± 8.8	28	65
Образование плодов	22.06	22.07	6.07	1.6	30	686.0 ± 32.9	429.3 ± 22.5	24	79
Начало созревания плодов	15.07	19.08	2.08	2.4	35	1117.2 ± 40.6	738.4 ± 29.9	21	81
Полное созревание плодов	5.08	2.09	18.08	1.4	27	1332.0 ± 24.8	868.8 ± 20.3	26	89
Черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i> Mill.)									
Распускание почек	10.05	28.05	22.05	2.6	18	97.5 ± 12.9	47.3 ± 8.9	6	09
Распускание листьев	17.05	7.06	28.05	2.0	20	138.1 ± 9.9	74.7 ± 11.8	9	10
Начало цветения	29.05	14.06	7.06	1.4	15	266.7 ± 10.4	147.0 ± 7.7	15	61
Массовое цветение	4.06	21.06	14.06	1.4	17	352.8 ± 14.2	203.5 ± 10.5	15	65
Рябина сибирская (<i>Sorbus sibirica</i> Hedl.)									
Распускание листьев	20.05	8.06	29.05	1.5	19	152.9 ± 14.2	77.7 ± 10.1	14	11
Начало цветения	5.06	23.06	14.06	1.4	18	351.8 ± 13.4	203.0 ± 12.0	14	61
Массовое цветение	12.06	3.07	19.06	1.4	20	435.5 ± 12.0	252.4 ± 8.5	14	65
Образование плодов	21.06	11.07	2.07	1.5	20	648.7 ± 23.7	395.3 ± 16.8	12	79
Начало созревания плодов	13.08	29.08	17.08	2.2	16	1332.4 ± 35.9	865.3 ± 33.6	7	81
Чозения толокнянколистная (<i>Chosenia arbutifolia</i> (Pall.) A. Skvorts.)									
Набухание почек	19.04	21.05	5.05	2.2	31	4.4 ± 1.4	0.7 ± 0.3	19	01
Распускание почек	12.05	30.05	22.05	1.2	17	66.5 ± 6.0	25.1 ± 3.2	19	69
Распускание листьев	19.05	6.06	29.05	1.1	17	132.9 ± 8.7	63.5 ± 6.7	20	11
Ольха кустарниковая (<i>Duschekia fruticosa</i> (Rupr.) Pouzar)									
Набухание почек	20.04	23.05	6.05	2.2	33	5.2 ± 1.6	0.9 ± 0.3	20	01
Распускание почек	10.05	30.05	22.05	1.0	19	49.5 ± 5.9	18.1 ± 3.6	28	09
Начало разворачивания листьев	20.05	6.06	30.05	0.9	17	123.8 ± 9.7	57.5 ± 6.7	28	11

Начало расцветивания листьев	5.08	9.09	21.08	1.5	36	1350.0 ± 27.1	871.9 ± 21.2	28	92
Морошка (<i>Rubus chamaemorus</i> L.)									
Начало цветения	5.06	19.06	12.06	0.7	12	296.2 ± 10.9	164.6 ± 8.7	25	61
Массовое созревание плодов	19.07	2.08	26.07	1.4	14	983.5 ± 22.0	620.1 ± 17.3	9	87
ЗИМНЕЗЕЛЕННЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ									
Багульник стелющийся (<i>Ledum decumbens</i> (Aiton) Lodd. ex Steud.)									
Начало цветения	10.06	1.07	17.06	1.6	21	378.2 ± 22.7	219.9 ± 14.3	18	61
Кедровый стланник (<i>Pinus pumila</i> (Pall.) Regel)									
Начало подъема ветвей	13.04	26.05	1.05	2.7	43	4.3 ± 1.6	0.8 ± 0.3	21	-
Окончание подъема ветвей	30.04	31.05	14.05	1.9	31	48.0 ± 7.3	10.2 ± 3.1	24	-
Начало осеннего полегания	5.10	31.10	13.10	1.3	27	1599.7 ± 29.1	995.3 ± 26.2	21	-
Полное осеннее полегание	11.10	2.11	21.10	1.5	20	1609.7 ± 34.5	1002.3 ± 28.5	18	-
Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)									
Начало цветения	8.06	26.06	14.06	1.4	18	360.3 ± 14.3	207.5 ± 10.7	15	60
Массовое цветение	12.06	2.07	22.06	1.4	21	470.1 ± 18.6	280.5 ± 14.9	15	65
Завязывание плодов	1.07	22.07	9.07	1.7	22	767.0 ± 21.4	483.8 ± 15.0	14	71
Образование плодов	20.07	5.08	29.07	1.6	16	1141.2 ± 41.5	751.6 ± 29.8	12	79
Начало созревания плодов	22.07	25.08	13.08	2.2	33	1334.7 ± 37.7	876.1 ± 26.3	15	81
Полное созревание плодов	16.08	7.09	28.08	1.3	22	1500.6 ± 34.3	970.0 ± 27.0	15	89

Примечание.

*Отклонение от средней величины представлено как +/-SE (standard error т.е. SD/√n, n – кол-во лет наблюдений).

** Феноамплитуда – интервал между наиболее ранней и наиболее поздней датами наступления фенологических явлений.

Результаты и обсуждение

В ходе исследований проанализированы климатические характеристики теплого и холодного периода (температура воздуха, годовое количество осадков, даты перехода термических рубежей и др.) и динамика сроков наступления сезонных явлений у деревьев, кустарников и кустарничков. В табл. 1 приводятся средние многолетние, максимальные и минимальные сроки наступления этих явлений и соответствующие суммы среднесуточных температур выше 5°C (далее – $\sum T \geq 5C^\circ$), отмеченные при наступлении каждой фенофазы. Даты устойчивого перехода через термические рубежи определены согласно методическим указаниям (Руководящий..., 2010).

Особенности фенологии растений в бассейне Колымы обусловлены сочетанием условий влияния многолетней мерзлоты, высокой активности солнечной радиации, длинного дня, большой суточной амплитуды температур. Закономерности хода сезонного развития растений на Сеймчанском участке можно проследить с помощью региональных и панареальных фитоиндикаторов.

Ведущим панареальным фенологическим индикатором в регионе служит береза плосколистная (Синельникова, Пахомов, 2015). Как и для других видов берез секции *Albae*, у этого вида отмечается согласование прохождения весенних фенофаз с определенными суммами температур выше 5°C и датами термических переходов (Минин и др., 2017). Так, начало сокодвижения совпадает с датой перехода среднесуточных температур через 4°C, распускания почек – через 5°C, полного облиствения – через 8°C. Начало распускания листьев березы отмечается при накоплении $\sum T \geq 5^\circ\text{C}$ в $(112.9 \pm 5.5)^\circ\text{C}$, а начало цветения черемухи обыкновенной служит панареальным индикатором важного климатического рубежа – перехода среднесуточной температуры через 10°C. Черемуха зацветает при накоплении $\sum T \geq 5^\circ\text{C}$ в 26.7 ± 10.4 и начинает поздневесеннюю волну цветения древесных растений. В верхнеколымском регионе с зацветанием черемухи начинается беззаморозковый период (Синельникова, Пахомов, 2015). Цветение шиповника иглистого происходит в конце второй декады июня при накоплении $\sum T \geq 5^\circ\text{C} = 369.7 \pm 6.9$ и служит индикатором наступления летнего периода, совпадая с датой перехода минимальной температуры через 5°C. Высокую степень корреляции с температурным фактором показывают и летне-осенние фенофазы этого вида.

В отличие от весенних и раннелетних, даты наступления позднелетних явлений в основном связаны с накоплением положительных среднесуточных температур. Исключение составляют сроки формирования и созревания плодов у кустарничков – голубики, брусники и морошки, которые согласуются с накоплением сумм температур выше 5°C, достаточно постоянных на всем ареале распространения этих видов (Юдина, Максимова и др., 1993; Синельникова, Пахомов, 2015). Существенное значение имеют и даты перехода определенных термических рубежей. Так, образование плодов голубики, смородины-дикуши и морошки происходит в начале полного лета и совпадает с переходом средней суточной температуры через 15°C. В начале августа с обратным переходом этого показателя отмечается созревание плодов у шиповника иглистого, смородины-дикуши, черемухи. Массовое расцветивание листьев летнезеленых древесных растений приурочено к дате перехода средней суточной температуры через 10°C ранней осенью, а заканчивает сезонный цикл развития этой группы видов опадом хвои лиственницы Каяндера, начинающимся с переходом минимальной температуры через 0°C в начале сентября.

Направленные изменения рядов фитофенологических явлений (тренды), полученные за период наблюдений на Сеймчанском участке (1985-2012 гг.), охватывают небольшой отрезок времени, тем не менее эти результаты достаточно полно характеризуют реакцию различных видов растений на климатические изменения. Потепление климата, отмечаемое с 60-х годов XX в., наиболее очевидно сказывается на смещении сроков наступления сезонных явлений в сторону более ранних в весенний период и в сторону более поздних в осенний. Однако даже между соседними регионами тенденции изменения климатических показателей могут существенно различаться (Минин, 2000; Соловьев, 2005; Синельникова, Пахомов, 2015).

Проведенный анализ величин трендов метеорологических показателей выявил наличие существенных изменений некоторых из них (табл. 2). В работе обсуждаются только наиболее значимые тренды. Основным климатическим событием в регионе можно считать повышение среднегодовой температуры воздуха, которое за период 1991-2012 гг. составило 2.2°C, что согласуется с общей тенденцией для Северной Азии (Шерстюков, 2009). Возросла и средняя температура теплого периода – на 2.0°C. В сторону увеличения сместились значения средних из минимальных и максимальных температур теплого периода в целом, а наибольший рост всех температурных показателей отмечается в мае, августе и сентябре. Значительно потеплели март и май, а температурные показатели апреля остались без изменений. Продолжительность безморозного периода увеличилась на 4-6 дней, а его теплообеспеченность возросла на 281.2°C. Полученные данные согласуются с выводами исследователей-климатологов, изучающих особенности климата бассейна Колымы в целом (Ушаков, 2017).

Таблица 2. Статистически достоверные тренды климатических показателей (1991-2012 гг.)

Table 2. Statistically significant trends in climatic parameters (1991-2012)

Показатели	Параметры тренда*		
	наклон	R ² , %**	значение показателя
Годовые характеристики			
Среднегодовая температура воздуха, °C	0.12	31.1	2.2
Средняя из максимальных годовых температур воздуха, °C	0.10	22.8	1.9
Средняя из минимальных годовых температур воздуха, °C	0.14	36.2	2.6
Годовое количество осадков, мм	5.36	33.0	85.7
Теплый период (май-сентябрь)			
Средняя температура воздуха за теплый период, °C	0.10	41.0	2.0
Средняя из минимальных температур воздуха за теплый период, °C	0.12	44.0	2.4
Средняя из максимальных температур воздуха за теплый период, °C	0.08	24.3	1.6
Сумма средних суточных температур воздуха выше 0°C	14.80	41.6	281.2
Сумма средних суточных температур воздуха выше 5°C	14.88	42.3	282.7
Сумма средних суточных температур воздуха выше 10°C	16.92	32.6	321.5
Число дней со средней суточной температурой воздуха выше 5°C	0.72	37.5	13.8
Число дней со средней суточной температурой воздуха выше 10°C	0.88	30.4	16.8
Средняя суточная температура воздуха, май (°C)	0.18	25.2	3.4
Средняя из минимальных температур воздуха, май (°C)	0.16	21.7	3.0
Абсолютный максимум температуры воздуха, май (°C)	0.31	26.8	5.9
Средняя из минимальных температур воздуха, первая декада мая (°C)	0.25	22.5	4.8
Абсолютный максимум температуры воздуха, вторая декада мая (°C)	0.33	24.1	6.2
Средняя из минимальных температур воздуха, третья декада мая (°C)	0.17	22.5	3.2

Средняя из максимальных температур воздуха, третья декада мая (°C)	0.36	39.7	6.7
Абсолютный минимум температуры воздуха, третья декада мая (°C)	0.24	28.6	4.6
Абсолютный максимум температуры воздуха, третья декада мая (°C)	0.31	26.8	5.9
Средняя суточная температура воздуха, третья декада мая (°C)	0.28	39.6	5.3
Средняя из минимальных температур воздуха, третья декада июня (°C)	0.14	21.5	2.6
Абсолютный максимум температуры воздуха, июль (°C)	0.25	37.0	4.7
Средняя из минимальных температур воздуха, август (°C)	0.20	37.2	3.8
Абсолютный минимум температуры воздуха, август (°C)	0.23	30.6	4.3
Средняя из минимальных температур воздуха, третья декада августа (°C)	0.25	28.2	4.8
Абсолютный минимум температуры воздуха, третья декада августа (°C)	0.25	33.6	4.7
Количество осадков за вегетационный период, мм	3.30	23.3	59.4
Холодный период (октябрь-апрель)			
Средняя из минимальных температур воздуха, март (°C)	0.30	23.5	5.7
Средняя из максимальных температур воздуха, март (°C)	0.29	33.0	5.5
Средняя месячная температура воздуха, март (°C)	0.28	29.7	5.4
Средняя месячная температура воздуха, декабрь (°C)	0.42	35.1	8.1
Средняя из минимальных температур воздуха, декабрь (°C)	0.41	34.8	7.8
Средняя из максимальных температур воздуха, декабрь (°C)	0.41	33.9	7.9

Примечания.

* – уровень значимости $p < 0.05$.

** – здесь и далее R^2 – доля (в %) общей дисперсии ряда, учтенная линейным трендом.

Существенно изменились температурные характеристики вегетационного периода. Суммы температур выше 5°C и 10°C возросли на 282.7 и 321.5 (20 и 25%) соответственно, а число дней с данными температурами – на две недели и более. Достоверный положительный тренд отмечен для одного из ведущих климатических показателей – количества осадков за теплый период, которое возросло на 59.4 мм.

На рисунках 3-5 представлены графики, линейные тренды которых статистически достоверны и показывают наиболее важные изменения в сезонной жизни растений. Ранневесенние фенологические явления не показывают тенденции к опережению, что согласуется с отсутствием трендов температурных показателей апреля. Наибольшие изменения коснулись сроков цветения деревьев и кустарников, приходящихся на раннелетний период, что можно объяснить повышением среднесуточной температуры мая. На 8 дней раньше начинается цветение у березы плосколистной, смородин печальной и дикуши, на 11 – у черемухи обыкновенной. Существенное увеличение длины вегетационного периода – на 14 дней – наблюдается только для лиственницы Каяндера за счет роста числа дней со среднесуточной температурой выше 5°C и повышения минимальных температур в августе и начале сентября.

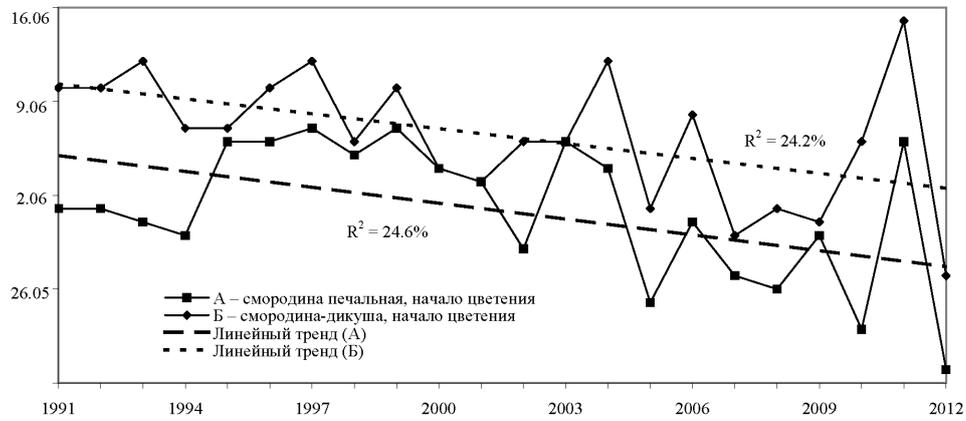


Рисунок 3. Динамика дат начала цветения у смородин дикуши и печальной (1991-2012)
*Здесь и далее по оси абсцисс– годы,
по оси ординат – даты*

Picture 3. Beginning of flowering dates dynamics in dikusha and swamp red currants (1991-2012).
Here and further years are placed on the abscissa, dates are placed on the ordinate

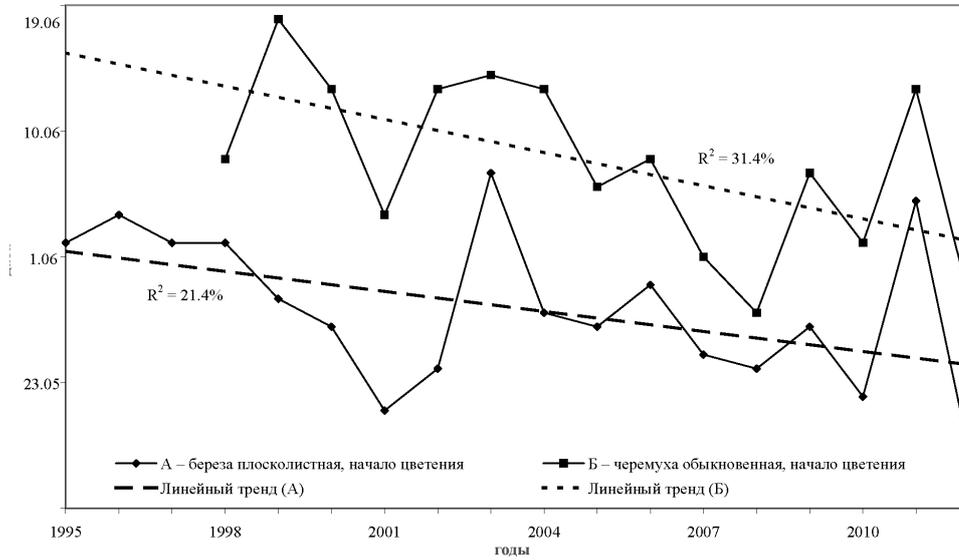


Рисунок 4. Динамика дат начала цветения у березы плосколистной и черемухи обыкновенной (1991-2012)

Picture 4. Beginning of flowering dates dynamics of the Japanese white birch and European bird cherry tree (1991-2012)

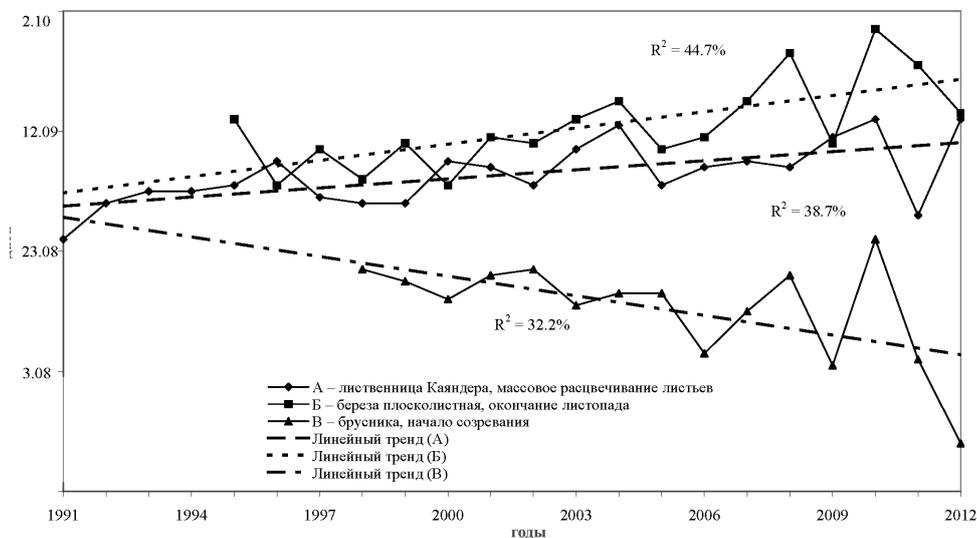


Рисунок 5. Динамика дат наступления осенних фенологических явлений у лиственницы Каяндера, березы плосколистной и брусники (1991-2012)

Picture 5. Autumn phenological phenomena dates dynamics of the Dahurian larch, Japanese white birch and lingonberry (1991-2012)

Даты созревания плодов у большинства видов ягодных кустарников и кустарничков сильно различаются по годам и зависят от нескольких климатических показателей, поэтому достоверный тренд выявлен только для даты начала созревания брусники, которое наступает на 15 дней раньше. Осенние явления, такие как расцветивание и опад листьев, менее связаны с температурным фактором, чем весенние, поэтому для них наблюдаются как положительные, так и отрицательные тренды. Это можно объяснить тем, что сроки наступления осенних явлений зависят от комплекса факторов, в том числе количества осадков, их распределения и коэффициента увлажнения (Прокошева, 2019). Так, массовое расцветивание хвои лиственницы Каяндера происходит на 11 дней, а полный опад хвои – на 15 дней позже, чем в начале наблюдений. Более поздние сроки окончания листопада – на 15 дней – отмечены для березы плосколистной, однако даты начала листопада и расцветивания листьев остаются неизменными. В целом же анализ сроков наступления таких фенофаз, как расцветивание листьев и окончание листопада у летнезеленых видов древесных растений показывает, что эти даты соответственно смещаются на более позднее время. Частично это можно объяснить более поздним наступлением стабильных осенних заморозков в конце августа-начале сентября.

Выводы

Проведенный анализ фенологических и климатических данных показывает, что за период 1991-2012 гг. в пределах территории Сеймчанского участка госзаповедника "Магаданский" произошли заметные изменения климата, которые проявляются прежде всего в повышении среднегодовой температуры воздуха и теплообеспеченности вегетационного периода. Однозначной реакции растений на потепление климата в целом не наблюдается, наступление летних и осенних фенофаз характеризуется как значимыми трендами, так и отсутствием таковых. Получены достоверные тренды опережения дат ранне-летних явлений – начала цветения у березы плосколистной, черемухи обыкновенной, смородин дикуши и печальной, а также осенних явлений – массового расцветивания листьев у лиственницы Каяндера, окончания листопада у березы плосколистной и начала созревания брусники. Существенно увеличилась продолжительность вегетационного периода у лиственницы Каяндера за счет роста числа дней со среднесуточной температурой выше 5°C и повышения минимальных температур в августе и начале сентября.

Список литературы

Алфимов, А.В., Берман, Д.И. (2014) Влияние Колымской ГЭС на пойменные экосистемы Сеймчанского участка заповедника "Магаданский", *Вестник СВНЦ ДВО РАН*, № 1, с. 25-33.

Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (2014) Москва, Росгидромет, 1008 с.

Информационная система "Погода и климат", электронный ресурс. URL: <http://rogodaiklimat.ru> (дата обращения 20.01.2021).

Иогансен, В.Е., Кузнецов, А.С. (1970) *Воды суши. Реки*, в кн.: Север Дальнего Востока Под ред. Н.А. Шило, М., Наука, 1970, с. 186-188.

Клюкин, Н.К. (1970) *Климат*, в кн.: Север Дальнего Востока Под ред. Н.А. Шило, М., Наука, с. 101-132.

Летопись природы заповедника «Магаданский» (1983-2013), электронный ресурс. URL: <http://magterra.ru/explore/chronicle-of-nature.html> (дата обращения 20.02.2019).

Мажитова, Г.Г. (1991) *Почвы и почвенный покров заповедника "Магаданский". Сеймчанский участок*. Препринт, Магадан, 45 с.

Методы оценки последствий изменений климата для физических и биологических систем (2012), под ред. С.М. Семенова, Москва, Росгидромет, 512 с.

Минин, А.А. (2000) *Фенология Русской равнины: материалы и обобщения*, Москва, изд. АБФ/АБФ, 160 с.

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*, № 5(4), с. 89-110.

Минин, А.А., Поликарпов, Н.В., Прокошева, И.В., Сапельникова, И.И., Шуйская, Е.А. (2019) Итоги I международной фенологической школы-семинара "Летопись природы России. Фенология", *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XXX, № 1-2, с. 5-14.

Минин, А.А., Ранькова, Э.Я., Рыбина, Е.Г., Буйолов, Ю.А., Сапельникова, И.И., Филатова, Т.Д. (2017) Феноиндикация изменений климата за период 1976-2015 гг. в центральной части европейской территории России: береза бородавчатая (повислая) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), черемуха обыкновенная (*Rododendron avium* Mill.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XXVIII, № 3, с. 5-22.

Михайлов, В.М. (2003) Мониторинг пойменного талика в нижнем бьефе Усть-Среднеканской ГЭС. Криосфера Земли как среда жизнеобеспечения. *Материалы междунар. конф., посв. 95-летию П.И. Мельникова (Пушино, 26-28 мая 2003 г.)*, Пушино, с. 115.

Руководящий документ РД 52.33.725-2010 (2010) Методические указания по составлению агрометеорологического ежегодника для земледельческой зоны Российской Федерации, Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 142 с.

Прокошева, И.В. (2019) Фенология березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) в горнотаёжном поясе Вишерского заповедника (Северный Урал), *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XXX, № 1-2, с. 53-69.

Растительный и животный мир заповедника "Магаданский" (2011), Магадан, СВНЦ СО РАН, 286 с.

Сапельникова, И.И. (2015) Фенология осенних процессов древесно-кустарниковых видов в Воронежском заповеднике. Современное состояние фенологии и перспективы её развития. *Мат. междунар. научно-практ. конф.*, Екатеринбург, ФГБОУ ВПО Урал. гос. пед. ун-т, с. 268-275.

Синельникова, Н.В., Пахомов, М.Н. (2015) *Сезонная жизнь природы Верхней Колымы*, М., КМК, 329 с.

Соловьев, А.Н. (2005) *Биота и климат в XX столетии. Региональная фенология*, М., Пасьева, 88 с.

Ушаков, М.В. (2017) Современные изменения термического режима в районе государственного природного заповедника "Магаданский", *Труды Кар. НЦ РАН*, № 4, с. 93-98.

Фенологические наблюдения. (Организация, проведение, обработка). Унифицированное руководство для добровольной фенологической сети (1982) Под ред. Н.Е. Булыгина, С.В. Щеголевой и др., Л., 244 с.

Филонов, К.П., Нухимовская, Ю.Д. (1985) *Летопись природы в заповедниках СССР. Методическое пособие*, М., Наука, 143 с.

Шерстюков, А.Б. (2009) *Изменения климата и их последствия в зоне многолетней мерзлоты России*, Обнинск, ГУ "ВНИИГМИ-МЦД", 127с.

Шило, Н.А. (1970) Рельеф и геологическое строение, в кн.: *Север Дальнего Востока* Под ред. Н.А. Шило, М., Наука, с. 24-56.

Шульц, Г.Э. (1981) *Общая фенология*, Л., Наука, 187 с.

Экологические последствия строительства крупных гидротехнических сооружений в горных вечномерзлых районах Севера на примере Колымской ГЭС. Закл. отчет по теме НИР (1982), Ин-т биол. пробл. Севера ДВНЦ АН СССР, № Гос. рег. 77071490.

Юдина, В.Ф., Максимова, Т.А. (1993) *Сезонное развитие растений болот*, Петрозаводск, 157 с.

Geng, X., Fu, Y.H., Hao, F., et al. (2020) Climate warming increases spring phenological differences among temperate trees, *Glob. Change Biol*, no. 26, pp. 5979-5987.

Growth Stages of Mono-and Dicotyledonous plants (1997) In U. Meier (ed.), VBCH Monograph. Blackwell Wiss, Verlag-Berlin-Vien, 622 p.

Menzel, A. (2002) Phenology: Its Importance to the Global Change Community, *Climate Change*, vol. 54, no 4, p. 379-385.

Ovaskainen, O., Meyke, E., Lo, C., Tikhonov, G., Delgado, M.D.M., Roslin, T., Gurarie, E., Abadonova, M., Abduraimov, O., Adrianova, O., Akimova, T., Akkiev, M., Ananin, A., Andreeva, E., Andriyuchuk, N., Antipin, M., Arzamascev, K., Babina, S., Babushkin, M., Bakin, O., Barabancova, A., Basilskaia, I., Belova, N., Belyaeva, N., Bepalova, T., Bisikalova, E., Bobretsov, A., Bobrov, V., Bobrovskiy, V., Bochkareva, E. 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.

References

Alfimov, A.V., Berman, D.I. (2014) Vliyanie Kolymskoj GJeS na pojmennye jekosistemy Sejmchanskogo uchastka zapovednika "Magadanskij" [The impact of Kolyma hydropower station on the floodplain ecosystems of the Seimchan area of Magadan state reserve], *Vestnik SVNC DVO RAN. Bulletin of the North-East Science Center*, № 1, pp. 25-33.

Vtoroj ocenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii (2014) [Second Evaluative Report of Rosgidromet on Climate Changes and their Effects on the Territory of the Russian Federation], Rosgidromet, Moscow, Russia, 1008 p.

Informacionnaja sistema "Pogoda i klimat" [Information system "Weather and

climate"], available at: <http://pogodaiklimat.ru> (data obrashhenija 20.01.2021) [date of access 20.01.2021].

Iogansen, V.E., Kuznecov, A.S. (1970) *Vody sushi. Reki*. [Inland waters. Rivers]. *Sever Dal'nego Vostoka*. [North of Far East], in Shilo, N.A. (eds), Nauka, Moscow, Russia, pp. 186-188.

Kljukin, N.K. (1970) *Klimat*. [Climate], *Sever Dal'nego Vostoka*. [North of Far East], in Shilo, N.A. (eds), Nauka, Moscow, Russia, pp. 101-132.

Letopis' prirody zapovednika «Magadanskij» (1983-2019) [Annales of Magadan state reserve], available at: <http://magterra.ru/explore/chronicle-of-nature.html> (data obrashhenija 20.02.2019). [Date of access 20.02.2019].

Mazhitova, G.G. (1991) *Pochvy i pochvennyj pokrov zapovednika "Magadanskij". Sejmchanskij uchastok* [Soils and soil cover of Magadan state reserve. Seimchan area], Preprint, Magadan, Russia, 45 p.

Metody ocenki posledstvij izmenenij klimata dlja fizicheskikh i biologicheskikh sistem, in Semenov, S.M. (eds) (2012) [Methods of evaluating of climatic changes for physical and biological systems], Rosgidromet, Moscow, Russia, 512 p.

Minin, A.A. (2000) *Fenologija Russkoj ravniny: materialy i obobshhenija*. [The Phenology of Russian plain: data and synthesis], izd. ABF/ABF, Moscow, Russia, 160 p.

Minin, A.A., Ananin, A.A., Bujvolov, Ju.A., Larin, E.G., Lebedev, P.A., Polikarpova, N.V., Prokosheva, I.V., Rudenko, M.I., Sapel'nikova, I.I., Fedotova, V.G., Shujskaja, E.A., Jakovleva, M.V., Jancer, O.V. (2020) Rekomendacii po unifikacii fenologicheskikh nabljudenij v Rossii [Recommendations to unify phenological observations in Russia], *Zapovednaja nauka*, № 5(4), pp. 89-110.

Minin, A.A., Polikarpov, N.V., Prokosheva, I.V., Sapel'nikova, I.I., Shujskaja, E.A. (2019) Itogi I mezhdunarodnoj fenologicheskoy shkoly-seminara "Letopis' prirody Rossii. Fenologija". [The results of the 10th phenological school-seminar "Chronicle of nature of Russia: phenology"], *Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovanija jekosistem*, vol. XXX, № 1-2, pp. 5-14.

Minin, A.A., Ran'kova, Je.Ja., Rybina, E.G., Bujvolov, Ju.A., Sapel'nikova, I.I., Filatova, T.D. (2017) Fenoindikacija izmenenij klimata za period 1976-2015 gg. v central'noj chasti evropejskoj territorii Rossii: bereza borodavchataja (povislaja) (*Betula verrucosa Ehrh. (B. pendula Roth.)*), cheremuha obyknovennaja (*Padus avium Mill.*), rjabina obyknovennaja (*Sorbus aucuparia L.*), lipa melkolistnaja (*Tilia cordata Mill.*). [Phenoindication of climate change for the period 1976-2015 in the Central part of European Russia: birch (silver birch) (*Betula verrucosa Ehrh. (B. pendula Roth.)*), common cherry (*Padus avium Mill.*), common mountain ash (*Sorbus aucuparia L.*), small-leaved linden (*Tilia cordata Mill.*)], *Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovanija jekosistem*, vol. XXVIII, № 3, pp. 5-22.

Mihajlov, V.M. (2003) Monitoring pojmnennogo talika v nizhnem b'efe Ust'-Srednekan GJeS [Floodplain talyk monitoring in the tail-water of Ust-Srednekan

hydropower station]. *Kriosfera Zemli kak sreda zhizneobespechenija, materialy mezhdunar. konf., posv. 95-letiju P.I. Mel'nikova (Pushhino, 26-28 maja 2003 g.)*, Pushhino, Moscow, Russia, 115 p.

Rukovodjashhij dokument RD 52.33.725-2010 (2010) Metodicheskie ukazaniya po sostavleniju agrometeorologicheskogo ezhegodnika dlja zemledel'cheskoj zony Rossijskoj Federacii [Guidance document RD 52.33.725-2010 (2010) Methodical instructions on drawing up of agrometeorological Yearbook for the agricultural zone of the Russian Federation], VNIIGMI-MCD, Obninsk, Moscow, Russia, 142 p.

Prokosheva, I.V. (2019) Fenologija berezy pushistoj (*Betula pubescens Ehrh.*) v gornotajozhnom pojase Visherskogo zapovednika (Severnyj Ural) [Phenology of silver birch (*Betula verrucosa Ehrh. (B. Pendula Roth.)*) in the mountain-taiga zone of Visher state reserve], *Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovanija jekosistem*, vol. XXX, № 1-2, pp. 53-69.

Rastitel'nyj i zhivotnyj mir zapovednika "Magadanskij" (2011) [Plant and animal life of Magadan state reserve], Magadan, Moscow, Russia, SVNC SO RAN, 286 p.

Sapel'nikova, I.I. (2015) *Fenologija osennih processov drevesno-kustarnikovyh vidov v Voronezhskom zapovednik. Sovremennoe sostojanie fenologii i perspektivy ejo razvitija: Mat. mezhdunar. nauchno-prakt. konf.* [Phenology of autumn events of tree and shrub species in the Voronez state reserve], FGBOU VPO Ural. gos. ped. un-t., Ekaterinburg, Moscow, Russia, pp. 268-275.

Sinel'nikova, N.V., Pahomov, M.N. (2015) *Sezonnaja zhizn' prirody Verhnej Kolymy* [Seasonal life of nature in the Upper Kolyma region], KMK, Moscow, Russia, 329 p.

Solov'jov, A.N. (2005) *Biota i klimat v 20m stoletii. Regional'naya fenologiya*. [Biota and climate in the 20th century. Regional phenology], Moscow, Russia, 288 p.

Ushakov, M.V. (2017) *Sovremennye izmenenija termicheskogo rezhima v rajone gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Magadanskij"*. [Modern changes of thermic regime in the Magadan state reserve]. *Trudy Kar. NC RAN* [Proceedings of the Karelia National scientific center of RAS], № 4, pp. 93-98.

Fenologicheskie nabljudenija. (Organizacija, provedenie, obrabotka). Unificirovannoe rukovodstvo dlja dobrovol'noj fenologicheskoi seti Phenological observations. (Organization, conduct, processing) (1982) [Unified Guidance for Voluntary Phenological Network (1982)], in N.E. Bulygina, S.V. Shhegolevoj i dr. (eds), Leningrad, Russia, 244 p.

Filonov, K.P., Nuhimovskaja, Ju.D. (1985) *Letopis' prirody v zapovednikah SSSR. Metodicheskoe posobie*. [Chronicle of nature reserves of the USSR. Methodical manual], Nauka, Moscow, Russia, 143 p.

Sherstjukov, A.B. (2009) *Izmenenija klimata i ih posledstvija v zone mnogoletnej merzloty Rossii* [Climatic changes and their consequences in the permafrost zone of Russia], GU "VNIIGMI-MCD", Obninsk, Russia, 127 p.

Shilo, N.A. (1970) *Rel'ef i geologicheskoe stroenie* [Relief and geological structure], *Sever Dal'nego Vostoka* [North of Far East] in N.A. Shilo (ed.), Nauka, Moscow, Russia, pp. 24-56.

Shul'c, G.Je. (1981) *Obshhaja fenologija* [General phenology], Nauka, Leningrad, Russia, 187 p.

Jekologicheskie posledstvija stroitel'stva krupnyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij v gornyh vechномерzlyh rajonah Severa na primere Kolymskoj GJeS. Zakl. otchet po teme NIR № Gos. reg. 77071490 (1982) [Environmental consequences of the construction of large hydraulic structures in the mountain permafrost regions of the North on the example of the Kolyma hydroelectric station. Zakl. report on the topic of research and development (1982), No. Gos. reg. 77071490], In-t biol. probl. Severa DVNC AN SSSR, Russia.

Judina, V.F., Maksimova, T.A. (1993) *Sezonnoe razvitie rastenij bolot.* [Seasonal development of mire plants], Petrozavodsk, Russia, 157 p.

Geng, X., Fu, Y.H., Hao, F., et al. (2020) Climate warming increases spring phenological differences among temperate trees, *Glob. Change Biol.*, no. 26, pp. 5979-5987.

Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous plants (1997) In U. Meier (ed.), BBCH Monograph. Blackwell Wiss, Verlag-Berlin-Vien, 622 p.

Menzel, A. (2002) Phenology: Its Importance to the Global Change Community, *Climate Change*, vol. 54, no. 4, p. 379-385.

Ovaskainen, O., Meyke, E., Lo, C., Tikhonov, G., Delgado, M.D.M., Roslin, T., Gurarie, E., Abadonova, M., Abduraimov, O., Adrianova, O., Akimova, T., Akkiev, M., Ananin, A., Andreeva, E., Andriychuk, N., Antipin, M., Arzamascev, K., Babina, S., Babushkin, M., Bakin, O., Barabancova, A., Basilskaja, I., Belova, N., Belyaeva, N., Bepalova, T., Bisikalova, E., Bobretsov, A., Bobrov, V., Bobrovskiy, V., Bochkareva, E. 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.

Статья поступила в редакцию (Received): 07.04. 2021.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 18.09.2021;

Принята к публикации (Accepted): 11.10.2021.

Для цитирования /For citation:

Синельникова, Н.В., Орехова, М.А., Пахомов, М.Н. (2021) Анализ многолетних фитофенологических данных на Сеймчанском участке заповедника "Магаданский", *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXII, № 3-4, с. 13-32, DOI: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-13-32.

Sinelnikova, N.V., Orekhova, M.A., Pakhomov, M.N. (2021) Analysis of long-term phenological data in the Seimchan area of Magadan state reserve, *Ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. XXXII, no. 3-4, pp. 13-32, DOI: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-13-32.
