

**КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Институт экологии и природопользования

**ФЕНОЛОГИЯ
(МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ)**

Учебно-методическое пособие



**Казань
2022**

УДК 630+581.54

Печатается по решению Методической комиссии
Института экологии и природопользования
(протокол № 4 от 20 июня 2022 г.)

Авторы составители:

кандидат биологических наук, доцент Д. В. Тишин,
кандидат биологических наук, доцент Н. А. Чижикова

Научный редактор:

доктор биологических наук, профессор М. Б. Фардеева

Фенология (методика наблюдений) / Д. В. Тишин, Н. А. Чижикова. - Казань:
Казанский федеральный университет, 2022. - 36 с.

Данное учебно-методическое пособие предназначено для студентов биологов и экологов, обучающихся в КФУ по разным специальностям. Может быть использовано при проведении курсов, посвященных изучению лесных, луговых и водных экосистем. В пособии приведены основные рекомендации по выбору площадок и методике проведения фенологических наблюдений. Также освещены статистические методы обработки фенологических данных, даны практические задания для студентов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ФЕНОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ПЕРИОДИЗАЦИЯ ГОДА	6
Зимний период.....	6
Весенний период	7
Летний период.....	9
Осенний период.....	10
ОБЪЕКТЫ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ	11
ФЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЗА	13
Установление фенологических фаз у растений	13
Установление фенологических фаз у животных	17
ОРГАНИЗАЦИЯ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ	18
Выбор объекта и места.....	18
Наблюдения, установление сроков проведения наблюдений и регистрация данных.....	18
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ.....	22
Средняя многолетняя дата	22
Число лет для обеспечения надежности наблюдений	24
Ожидаемая дата наступления фенофазы.....	24
Проверка фенодат.....	25
Вычисление тренда	25
Анализ связей фенофазы с температурой	26
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ.....	28
Работа №1. Фенологические наблюдения в весенний период.....	28
Работа №2. Фенологические наблюдения в осенний период	28
Работа №3. Многолетняя динамика изменений фенодат начала облиствения и зацветания у древесно-кустарниковых растений	29
Работа № 4. Анализ фенологических рядов.....	29
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	31
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	32
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	33
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	34
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	36

ВВЕДЕНИЕ

В наше время все больше людей заняты деятельностью, в которой знания о природе и ее цикличности просто не нужны. Они переезжают в города или густонаселенные районы, где окружающая среда и природа не имеют существенного влияния на повседневную жизнь. В результате урбанизации общества снижается необходимость наблюдать и запоминать природные явления, накапливать опыт, так как современный человек не зависит от природных явлений. Современный стиль жизни не оставляет времени, чтобы следить за тем, что происходит в природе. Снижение общего уровня знаний и понимания в этой области неблагоприятно и опасно для человеческого общества, однако всегда остаются энтузиасты, увлеченные познанием окружающего мира, подмечающие в местной природе те или иные закономерности сезонной ритмики метеорологических и биологических процессов.

Термин фенология был предложен бельгийским ученым Ш. Морраном в 1853 году (Шульц, 1971). Фенология (phaino – «являю», и logos – «учение») наука о сезонных явлениях природы, сроках их наступления и причинах, определяющих эти сроки.

В России добровольные фенологические наблюдения ведутся более 200 лет под эгидой РГО. Наблюдатели этой сети в основном школьные преподаватели, учащиеся, юннатские коллективы, краеведы и др. Именно их трудом создается летопись природы России. Отдельно следует отметить сеть наблюдений в заповедниках, на научных стационарах. Этих пунктов наблюдения не так много, но их проводят специалисты, и эти точки выступают как своеобразные «маркеры», по данным которых контролируются фенологические материалы с других пунктов.

Рассмотрим примеры возможных задач прикладной фенологии:

1. установление сроков борьбы с вредителями древесных пород, хлебных злаков и других важных сельскохозяйственных культур;

2. выявление наиболее рациональных сроков сева и уборки сельскохозяйственных культур и начала пастьбы;
3. определение сроков цветения, плодоношения, сбора семян древесных пород, а также перспективы их урожаев для правильной организации лесного хозяйства (при создании лесозащитных посадок);
4. подбор видов растений для озеленения наших городов и сел, опираясь на периодизацию сроков цветения, облиствения, сбрасывания листвы;
5. установление сроков зацветания медоносных растений.

Фенологические наблюдения используются для установления географических закономерностей сезонного развития природы, что особенно актуально в условиях современного изменения климата Земли.

ФЕНОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ПЕРИОДИЗАЦИЯ ГОДА

Календарные сезоны – весна, лето, осень, зима по длительности и датам начала и конца не совпадают с климатическими и фенологическими сезонами. Так, например, по календарю март – весенний месяц, но по климатическим условиям на востоке Европейской части России он является по существу зимним месяцем; по тем же условиям ноябрь относится к зиме. В климатологии границы сезонов определяются по датам устойчивого перехода средних суточных температур воздуха через определенные значения, которые неодинаковы для различных климатических зон.

Зимний период

Зима – время постоянного снежного покрова. Начало зимы связано с установлением постоянного снежного покрова, конец – связан с началом появления проталин. Температурным критерием наступления сезона служит переход максимальных температур ниже 0°C . Фенологическая зима на территории Русской равнины длится в среднем 120 дней.

По характеру изменения температурных показателей зима подразделяется на три периода: первозимье (мягкая), среднезимье (глубокая) и предвесенье.

Мягкая зима длится в среднем две недели. Характеризуется установлением среднесуточной температуры воздуха ниже нуля и постоянного снежного покрова.

Глубокая зима – самый холодный и продолжительный период зимы, время формирования основной массы снежного покрова. Температурным критерием начала периода является переход максимальных температур ниже -5°C . В среднем это происходит в начале декабря. Средняя продолжительность глубокой зимы 80 дней, отклонения могут составлять от 3 до 14 дней. Большая часть осадков сезона выпадает именно в этот продолжительный и холодный период. Высота снежного покрова возрастает в течение всего периода до 50 см. Особенно высокие снега стоят в период с середины февраля по середину марта.

Предвесенье – заключительный этап зимы. Критерием наступления периода является постоянный переход максимальных температур выше -5°C . Несмотря на рост положительных температур, минимальные температуры в этот период еще низки и могут доходить до -20°C . Средняя дата наступления предвесенья – середина февраля, средняя продолжительность периода – 20 дней. Высота снежного покрова за предвесенье может увеличиваться в среднем на 10-15 см. Возрастание длины светового дня вызывает ряд предвесенних явлений и оживление в жизни зимующих птиц. В частности, именно в этот период отмечались первая песня большой синицы.

Весенний период

Весна охватывает период времени от таяния снега до безморозного периода и развертывания листвы. Для весны характерна неустойчивая погода, возвраты холодов, снегопады, резкие колебания температур в течение суток.

Началом весны считается постоянный переход максимальных температур выше 0°C . Весна разделяется на 3 периода: ранняя, зеленая и предлетье.

1. Ранняя весна

Ранняя весна охватывает время от начала таяния снега до начала зеленения растительности. Среднесуточные температуры в этот период еще не высоки, ночные – ниже 0°C . Снежный покров еще значителен, может нарастать в течение периода и полностью разрушается к его концу. Продолжительность ранней весны в среднем составляет 56 дней. По характеру схода снежного покрова в ранней весне выделяются подпериоды: снежная, пестрая и голая весна.

1.1 Снежная весна

С наступлением снежной весны начинается таяние снега, но его убыль часто компенсируется выпадением новых осадков. Высота снежного покрова при этом может возрастать. Ночные температуры воздуха в этот период могут снижаться до -15°C . Из феноявлений в этот период чаще всего отмечалось формирование кольцевых проталин

у деревьев, проталин на южных склонах. Прилет птиц только начинается, отмечалось появление грачей. Начало интенсивного таяния снега. Появление проталин на южных склонах.

1.2 Пестрая весна

Характеризуется пестрым ландшафтом из-за частичного схода снега. Температурный критерий начала подпериода – постоянный переход максимальных температур выше 5°C . Дополнительный признак – переход суточных температур выше 0°C . Средняя дата наступления подпериода в наших условиях это первая декада апреля. При дружном ходе весны пестрая весна иногда не выделяется. В среднем продолжительность составляет 10 дней.

К пестрой весне приурочено начало ледохода на малых реках, начало разрушения постоянного снежного покрова, начало сокодвижения у березы, пробуждение бабочек-крапивниц, муравьев, прилет белой трясогузки и зяблика.

1.3 Голая весна

Характеризуется полным исчезновением снежного покрова и переходом минимальных температур выше 0°C , а суточных – выше 5°C . Средняя дата начала подпериода – 13 апреля, средняя продолжительность – 15 дней.

Среднесуточные температуры голой весны почти в 2 раза выше, чем в предыдущем подпериоде. В подпериод голой весны на освобожденной от снега земле отмечается цветение ранневесенних растений: мать-и-мачеха, прострел раскрытый. Это время начала распускания почек березы, рябины, смородины, появления первых шмелей, лягушек, ужей.

2. Зеленая весна

Температурный критерий начала этого периода – постоянный переход минимальных температур воздуха выше 5°C . Средняя дата начала зеленой весны – конец апреля. Заморозки в период зеленой весны уже редки и не

бывают более 1-2 дней. Из феноявлений для зеленой весны характерно начало зеленения березы, ольхи, рябины, черемухи и др., цветение смородины, одуванчика, медуницы, земляники, черники. Прилетают последние насекомоядные птицы – стрижи, ласточки, слышится первая песня соловья.

3. Предлетье

С прекращением ночных заморозков весна вступает свою последнюю стадию. Температурный критерий наступления предлетия – постоянный переход максимальных температур выше 15°C. Средняя дата начала сезона 17.05, средняя продолжительность – 8 дней.

Летний период

Лето – один из самых продолжительных сезонов, охватывающий время от массового цветения черемухи до осенней раскраски листьев. Температурный критерий его начала – переход минимальных температур выше 10°C в первый раз, дополнительный критерий – переход суточных температур выше 15°C.

Лето подразделяется на 3 периода: перволетье, красноелетье и предосенье.

Перволетье

Перволетье – непродолжительный период лета, длится он в среднем две недели. Это один из самых теплых фенологических периодов, заморозки отсутствуют полностью. Установление среднесуточной температуры воздуха выше +15°C. Зацветание шиповника, массовое появление слепней.

Красноелетье

Полное лето начинается с окончательного перехода минимальных температур выше 10°C. Средняя дата начала полного лета – первая декада июня. Продолжается период в среднем два месяца. Фенологическая индикация этого периода наиболее затруднена. Заканчивают цветение ягодники, отмечается созревание земляники, черники, черной смородины. Начало стрекотания кузнечиков и зацветание у липы мелколиственной.

Иногда уже в конце полного лета появляются желтые пятна раскраски у березы и липы.

Предосень

Температурный критерий начала периода – переход минимальных температур воздуха ниже 10°C. Время еще достаточно теплое, хотя уже возможны одиночные ночные заморозки. Предосень наступает в среднем в середине августа. В это время отмечалось, как правило, начало пожелтения листьев у березы, дуба и липы. Предотлетные «хороводы» у стрижей.

Осенний период

Осень – переходное время от летнего состояния природы к зимнему. Снижается продолжительность светового дня, начинается преобладание холодных температур. Осень охватывает период от начала осенней раскраски растительности до установления снежного покрова. Температурный критерий – переход минимальных температур воздуха ниже 10°C постоянно. К концу сезона отмечается выпадение снега, может формироваться неустойчивый снежный покров. Осень подразделяется на три периода: начальная, золотая и глубокая.

Начальная

Установление среднесуточной температуры воздуха ниже +15°C. Стрижей уже нет. Появление желтых «прядей» у берез.

Золотая

Установление среднесуточной температуры ниже +10°C. Первые стаи журавлей на пролете. Полная осенняя окраска берез.

Глубокая

Установление среднесуточной температуры воздуха ниже +5°C. Последние стаи журавлей. Окончание листопада у березы.

ОБЪЕКТЫ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

1. В атмосфере. Первые и последние заморозки. Появление первых и последних кучевых облаков; первая и последняя грозы.
2. В гидросфере. *Озера и пруды*: замерзание осенью и вскрытие весной, полное очищение водоема ото льда; *реки*: начало и конец ледохода; *ледостав*: возможность перехода по льду.
3. На поверхности почвы. Установление и разрушение *снежного покрова*, отдельно – на открытых местах (поле) и в лесу; *заморозки* весной и осенью.
4. В живой природе. Многообразные сезонные проявления жизнедеятельности отдельных видов организмов и их сообществ (Соловьев, 2005):

Сезонные явления в мире растений

- начало весеннего сокодвижения (у берез, кленов);
- всходы (однолетних видов, с/х культур);
- начало распускание почек;
- начало облиствения;
- начало и конец цветения;
- начало созревания плодов;
- начало рассеивания плодов или семян;
- начало осеннего отмирания листьев;
- начало осеннего листопада;
- полное осеннее расцветивание листьев;
- конец листопада.

Сезонные явления в мире животных

Легче всего вести наблюдения за массовыми видами – птицами во время перелетов, рыбами при массовом их отлове, лягушками, насекомыми, например пчелами, комарами, бабочками и жуками. События, которые могут изучаться у млекопитающих – линька, спаривание, миграция. У лосей, косуль, оленей – смена рогов.

Птицы

- Отлет зимующих птиц весной; в средней полосе отмечают последние встречи свиристелей;
- Начало весеннего пролета – отмечается первые и последние стаи пролетающих на север гусей, уток, журавлей;
- Прилет гнездящихся птиц – отдельно фиксируется появление первых птиц, а затем их массовый прилет на гнездовья (в средней полосе – грачи, скворцы, ласточки, стрижи и др.);
- Первая весенняя песня или крик: *полевой жаворонок, кукушка, соловей*.
- Начало и завершение кладки яиц, вылупление птенцов;
- Осенний отлет – фиксируется исчезновение особей данного вида, до того постоянно встречавшихся в местах наблюдений;
- Осенний отлет – фиксируются все летящие на юг стаи птиц;
- Появление зимующих птиц (свиристель, чечетки, снегирь).

Земноводные

- Первое кваканье.

Насекомые

- Появление первых ярких бабочек (крапивница, лимонница, павлиний глаз); крупных жуков (майский хрущ).
- Вылет стрекоз.
- Начало стрекотания кузнечиков.
- Начало лёта паутины осенью.

ФЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЗА

Фенологическая фаза – это определенный этап, стадия или период в развитии живого организма или сезонное состояние объекта, в котором он находится то или иное время (см. примеры для растений в табл. 1). Для характеристики фенофазы (ФФ) требуется по меньшей мере две даты, дающие представление о ее продолжительности: дата начала и дата конца.

Фенофаза обычно характеризуется тремя стадиями:

ФФ1. Начало (например, прилет передовых грачей, зацветание черемухи).

ФФ2. Кульминация (например, массовый прилет грачей, массовое зацветание черемухи).

ФФ3. Окончание (конец прилета грачей и цветения черемухи).

Таблица 1
Примеры явлений, выделяемые в развитии растений

Фенофаза	Явления
Начало вегетации	Сокодвижение Набухание почек Распускание почек Облиствение
Бутонизация	Набухание цветочных почек Развертывание цветочных почек
Цветение	Раскрытие первого цветка Массовое цветение Окончание цветения
Плодоношение	Массовое завязывание плодов и т.д.
Окончание вегетации	
Период покоя	

Установление фенологических фаз у растений

1. Сокодвижение

Сокодвижение определяется моментом появления первых капель сока на поверхности ствола деревьев (береза повислая, клен ясенелистный и др.). Заблаговременно на 2–3 деревьях делаются проколы в коре, которые потом замазываются садовым варом.

2. Набухание и распускание почек

Увеличение размеров и раскрытие чешуек у вегетативных и цветочных почек (рис. 1).

3. Облиствение

Облиствение – это момент, когда листовые почки раскрылись, листья обособились, вышли на черешках, но пластинки еще не расправились полностью (рис. 1, 2).

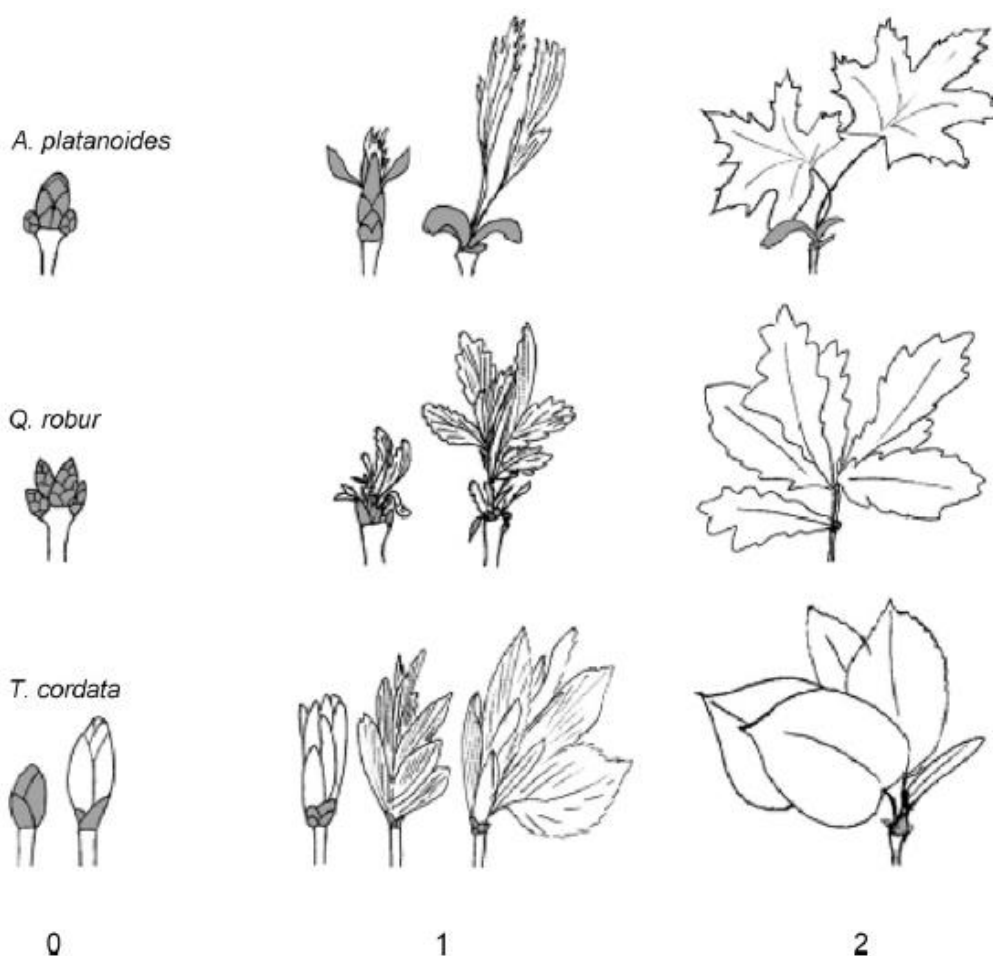


Рисунок 1. Фенологические фазы у древесных растений: 0 – зимний покой, 1 – раскрытие почек, 2 – облиствение (Wesolowski, 2006).

4. Цветение

Полное раскрытие венчика у нескольких цветков является началом цветения. У ветроопыляемых растений (береза, ольха, лещина, сосна) зацветание отмечается тогда, когда при ветре или при потряхивании высыпается пыльца! У растений, опыляемых насекомыми, начало цветения

определяется выдвиганием пыльников (на пример, розоцветные). У одних растений цветение начинается раньше облиствения (ива, ольха, лещина), у других – одновременно с распусканием листвы (например, у дуба). Есть виды, которые зацветают только после облиствения, например липа мелколиственная.



Рисунок 2. Фенологические фазы у дуба черешчатого. 0 – зимний покой, 1 – набухание почек, 2 – раскрытие почек, 3 – развертывание молодых листочков, 4 – полное облиствение (Puchalka et al., 2017).

5. Плодоношение

Созревание плодов идет в определенной последовательности. Дольше всего созревают шишки и семена у хвойных. *Появление первых созревших сочных плодов* (ягод, костянок и др.) – день отметки первых плодов, целиком окрасившихся в свойственный данному виду цвет и ставших мягкими (легко раздавливаются). Если тот или иной вид в данном году не плодоносил вовсе, то это отмечается особо.

6. Окончание вегетации

Данное явление отмечается в тот момент, когда лист растений полностью приобрел осеннюю окраску и наступает листопад. В этот период у видов происходит закладка почек возобновления.

Начало осеннего пожелтения листопадных деревьев и кустарников – день, когда впервые не менее чем у 10% растений данного вида на участке отмечены пряди желтых листьев или (как, например, у клена) разбросанные по кроне желтые листья. С осенним пожелтением не следует смешивать частичное отмирание листвы летом в глубине кроны.

Полная осенняя раскраска листвы – день, когда листва основной массы древостоя полностью окрасилась в осенние цвета. Отдельные зеленые листья в расчет не принимаются. Имеются годы, в которые у некоторых видов деревьев и кустарников осеннее пожелтение не доходит до конца или даже вовсе не наблюдается. Это необходимо отметить в дневнике наблюдений.

Конец листопада – день, в который в последний раз наблюдалось осыпание листьев и основная масса древостоя полностью обнажилась или сохранила лишь мертвые засохшие листья. После листопада растение вступает в период относительного покоя.

7. Период относительного покоя

В зимний период в первую очередь ведут наблюдения над почками (размеры, форма, цвет). Сильные морозы могут приводить к отмиранию побегов и почек и к образованию морозобоин. Для фиксирования продолжительности периода зимнего покоя у различных деревьев и кустарников раз в декаду, срезают ветви, по три ветки каждого вида, переносят их в теплое помещение, ставят в воду и ведут наблюдения над характером развития у них побегов (Бейдеман, 1974).

Для удобства заполнения можно использовать готовую фенологическую анкету см. Приложение 1, 3.

Установление фенологических фаз у животных

Для перелетных **птиц** отмечаются первые единичные встречи весной после зимнего перерыва или первая услышанная песня и дата начала валового прилета, а для пролетных видов – все пролетающие стаи. Необходимо также отмечать все случаи, когда прилетевшие весной птицы на время вновь исчезают. Конец отлета отмечается в день последней встречи птиц в заметном количестве. Отдельно отмечаются единичные встречи птиц в конце осени. *Какие вы знаете кочующие виды птиц?*

Для **насекомых** также отмечаются первые единичные встречи весной и дата начала массового пробуждения или вылета. За последнее принимается день, в который на участке впервые отмечено не менее 5–10 животных данного вида. Конец активности отмечается в день последней встречи насекомых данного вида в заметном количестве.

Все сделанные наблюдения вносятся в журнал наблюдений или фенологическую анкету.

Для удобной фиксации наблюдений за животными, можно использовать готовую фенологическую анкету см. Приложение 2.

ОРГАНИЗАЦИЯ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Организация фенологических наблюдений включает следующие этапы (Соловьев, 2005):

1. Выбор объекта и места наблюдения.
2. Наблюдение, установление сроков и регистрация данных.
3. Обработка информации.

Выбор объекта и места

Наблюдения проводятся над одним видом растения или над совокупностью их в растительном сообществе. Если специальный интерес представляет какой-либо один вид растения, важно его изучать при разных условиях среды:

- А. В затененных и освещенных
- Б. В сухих и увлажненных местах на различных почвах
- В. При разных элементах рельефа.

Если задачей является изучение растительного сообщества в целом, то регистрация фенофаз проводится в первую очередь у эдификаторов, а затем и у остальных видов. Место, на котором растет растение или находится сообщество, надо точно описать и отметить его особенности и отличия от других пунктов. В описании указывается: геолокация, высота места над уровнем моря, рельеф (вершина, холм, ложбина, склон), экспозиция склона, наличие водоема, окружающая растительность, антропогенная нагрузка. Составляется план местности.

Наблюдения, установление сроков проведения наблюдений и регистрация данных

Наблюдения над деревьями и кустарниками производятся в естественных или искусственных насаждениях, содержащих ряд здоровых, не очень старых экземпляров в возрасте плодоношения. Наблюдения над единичными экземплярами допускаются лишь при отсутствии в районе наблюдений соответствующих насаждений. Число единичных экземпляров должно быть отмечено при описании постоянных участков.

Наблюдения над травянистыми растениями и лугами проводятся на участках, на которых наблюдаемые виды произрастают в значительном количестве.

Наблюдения над животными организуются в первую очередь над видами, встречающимися в районе наблюдений в значительном количестве.

Основной отметкой фенологических наблюдений является точная дата наступления явления, сопровождаемая количественной его оценкой. Точно устанавливать фенодаты можно лишь при ежедневном обходе постоянных участков наблюдений, желательно водни и теже часы дня. Для большинства сезонных явлений лучшим временем наблюдений является утро. В крайнем случае допустим обход постоянных участков через день.

Растение считается вступившим в ту или иную фазу (цветения, созревания плодов и др.), если признаки фазы, проявились хотя бы на отдельной его ветке или отдельном его побеге. У деревьев и кустарников начало фазы отмечается в день, когда она наступила не менее чем у трех здоровых экземпляров на участке. У сельскохозяйственных культур и луговых злаков следует отмечать: начало фазы у единичных растений; начало фазы на участке или поле в целом, – день, когда она отмечена не менее чем у 10% растений; массовое наступление фазы – день, когда она отмечается не менее чем у 50% растений. Процент устанавливается на участке наблюдений путем четырехкратного отсчета в разных местах без выбора по 10 растений и определения, сколько из них вступило в данную фазу.

Следует отметить, что фенонаблюдения представляют научную и практическую ценность только в том случае, если они проводятся периодически, по единой программе, иначе материал из разных пунктов окажется несогласованным, а следовательно, и несравнимым при обработке. Лучше всего отмечать наступление фенофаз в период вегетации. В условиях нашего региона начало вегетации растений приходится на середину апреля. В период цветения следует посещать площадки ежедневно, при вегетации через

три дня. При этом ведется особая запись в дневнике или фенологической анкете.

При возможности фенологические площадки фотографируются в одно и то же время. Можно эту процедуру проводить каждый месяц или каждый год в одну и ту же дату (рис. 3, 4).

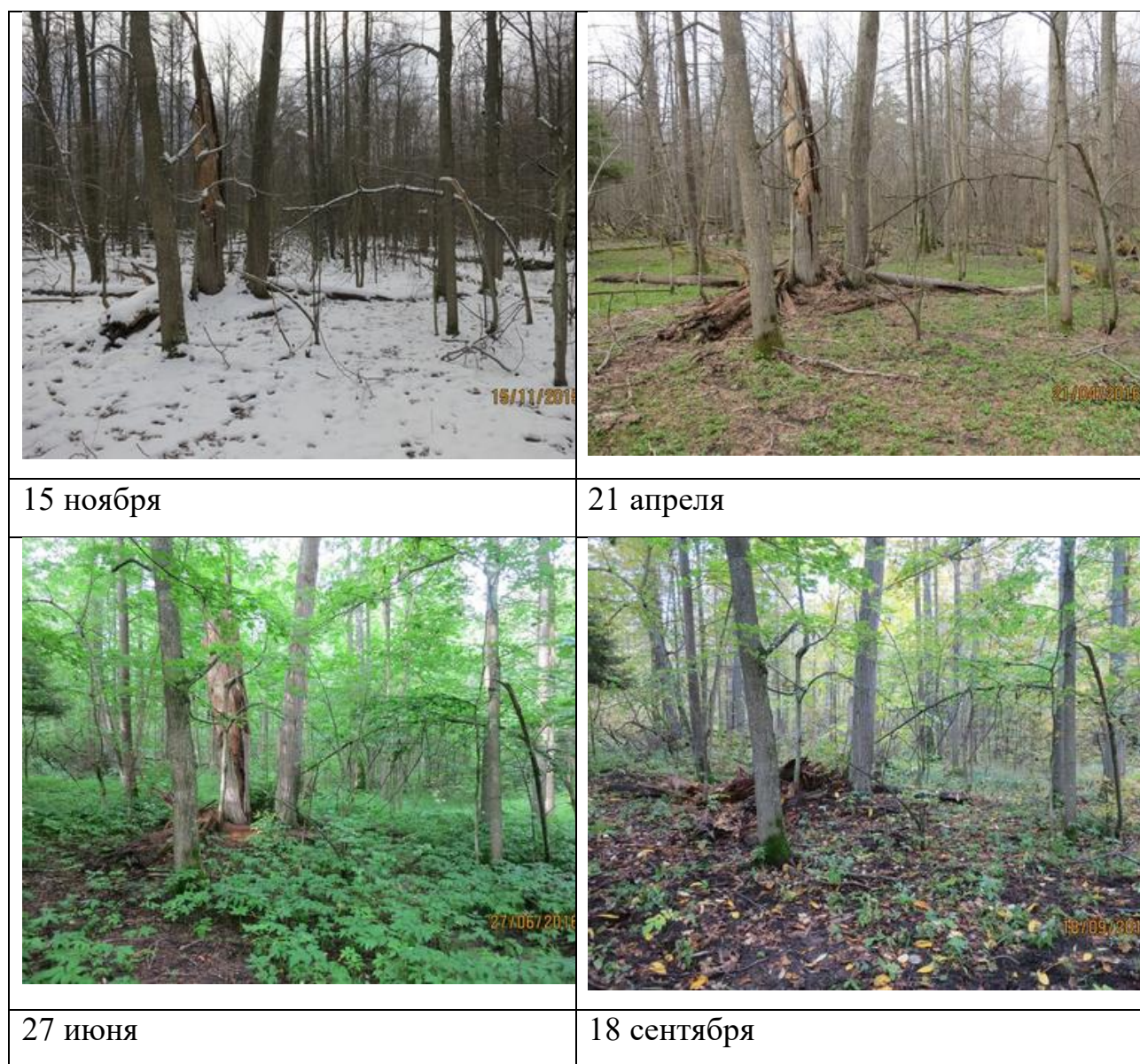


Рисунок. 3. Разновременные фотографии одного и того же места в течение года.



Рисунок. 4. Ежегодные фотографии одного и того же места в фиксированную дату: лесопарк Дубравная 13 апреля 2006–2009 гг.

Форму дневниковых записей наблюдатель выбирает по своему усмотрению. В дневнике после указания даты и часов наблюдений отмечаются: состояние погоды; явления в растительном и животном мире. В условиях города очень важно избегать регистрации искусственных дат, например цветение мать-и-мачехи в районе труб городских ТЭЦ. Ошибочная дата прилета грачей может возникнуть при регистрации зимовавшего в городе грача, принятого за передового прилетного.

По результатам наблюдений продолжительностью свыше 10 лет составляется календарь природы – основной документ, характеризующий ритмику местной природы.

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Средняя многолетняя дата

Для каждого сезонного явления вычисляется его средняя многолетняя дата. Средняя дата определяется путем подсчета среднего арифметического значения. Если даты фенологического ряда относятся к разным месяцам (например, 30 апреля и 2 мая), они переводятся в последовательный ряд чисел арифметического ряда, начиная с числа, соответствующего первой дате.

Полученная сумма этих чисел делится на количество лет фенологического ряда и полученное среднее суммы этих чисел переводится в дату вычитанием из него количества дней в первом из двух месяцев.

Вместо ошибки средней под каждой датой вычисляют величину среднеквадратического отклонения (сигма), которая дает границы интервала данной средней даты.

Для перевода календарных дат в непрерывный ряд, часто используют таблицу чисел, где отчет идет с 1 марта (Зайцев, 1981) (см. Приложение 4).

Например, начало облиствения у дуба черешчатого в нашем регионе в среднем приходится на 10 мая (Askeyev et al., 2005) или на 71 день отсчитывая с 1 марта; отнимая и прибавляя к этому числу сигму, равную 7 дням, получим 64 и 78 дней. Обращаясь к приложению № 4 (таблицу для перевода календарных дат в непрерывный ряд), превращаем эти числа снова в привычные даты: 3 мая и 17 мая, что является интервалом нормы облиствения дуба нашего района. Облиствение раньше 3 мая или позже 17 мая должно послужить указанием на то, что начали действовать внешние или внутренние факторы.

Далее дается пример математической обработки фенологического ряда, например цветения ольхи черной (табл. 2).

Таблица 2
Обработка дат цветения ольхи черной

Год	Дата		Отклонение фенодат от средней $a = x - M$	Сумма квадратов отклонений $a^2 = (x - M)^2$
	Календарная	В днях от 1 марта (x)		
1997	01.04	32	-7	49
1998	16.04	47	+8	64
1999	17.04	48	+9	81
2000	05.04	36	-3	9
2001	08.04	39	0	0
2002	05.04	36	-3	9
2003	07.04	38	-1	1
$N = 7$	$M = 08.04$	$M = \frac{\sum_{i=1}^N x}{N} = \frac{276}{7} = 39$	$A = \sum_{i=1}^N a = 3$	$A^2 = \sum_{i=1}^N a^2 = 213$

Очередность вычислений:

1. Вычисляем среднее арифметическое дат M (N – число наблюдений):

$$M = \frac{\sum_{i=1}^N x}{N} = \frac{276}{7} = 39 \text{ суток, начиная с 1 марта,}$$

что соответствует дате 08 апреля.

2. Рассчитываем отклонение приведенных фенодат от средней многолетней даты:

$$A = \sum_{i=1}^N (x - M) = 3.$$

3. Вычисления проверяем по формуле:

$$A = \sum_{i=1}^N x - N \cdot M = 276 - 7 \cdot 39 = 3.$$

4. Отклонения возводим в квадрат и находим сумму квадратов отклонений A^2 :

$$A^2 = \sum_{i=1}^N (x - M)^2 = 213.$$

4. Определяем дисперсию σ^2 :

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x - M)^2}{N - 1} = \frac{213}{6} = 35.5.$$

5. Среднее квадратическое отклонение σ :

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{35.5} = 5.9 \text{ суток.}$$

7. Ошибка средней арифметической (m):

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{5.9}{\sqrt{7}} = 2.2 \text{ суток.}$$

7. Доверительный интервал средней арифметической:

$$M + 2m = 39 + 2 \cdot 2.2 = 43.4 \text{ суток.}$$

$$M - 2m = 39 - 2 \cdot 2.2 = 34.6 \text{ суток.}$$

С помощью этих расчетов установлены основные параметры фенологического ряда зацветания ольхи черной. В среднем дерево начинает цвести 8 апреля (через 39 суток от 1 марта) с колебаниями в сторону раннего зацветания до 3 апреля (34-е сутки от 1 марта) и до 12 апреля в сторону позднего зацветания (43-и сутки от 1 марта).

Число лет для обеспечения надежности наблюдений

Число лет, которое требуется для обеспечения достаточной надежности фенонаблюдений, подсчитывается по формуле:

$$N=0.1537 * V,$$

где V – коэффициент вариации в %.

Например, при $V=12\%$ объекты требуется наблюдать в течение 22 лет.

Если вид наблюдается 14 лет и варьирование фенодаты при этом не превышает 10%, то наблюдения по нему можно прекратить, так как минимально необходимая достоверность данных уже достигнута.

Ожидаемая дата наступления фенофазы

Наступление той или иной фазы развития можно рассчитать по уравнению

$$D = D_1 + \frac{A}{T - T_{\text{мин}}},$$

где D – ожидаемая дата наступления фазы; D_1 – дата наступления предшествующей фазы; A – сумма эффективных температур °С, необходимая для данной фазы; T – ожидаемая средняя суточная температура °С; $T_{\text{мин}}$ – биологический температурный минимум.

Проверка фенодат

Вычисленные даты фенологических событий следует проверять. Перечислим способы проверки, приведенные в работе (Соловьев, 2005).

Первый способ заключается в сопоставлении рядов. Последовательность большинства сезонных явлений из года в год не меняется. Например, ольха зацветает раньше осины, а черемуха – раньше яблони, скворцы прилетают весной раньше жаворонка, а деревенская ласточка – раньше стрижей. Если в записи порядок каких-то из этих пар явлений обратный, значит, одна из дат ошибочна.

Второй способ контроля состоит в сравнении проверяемого ряда с рядами соседних географических пунктов. Если сверяемая дата не соответствует положенному ей месту, значит, она ошибочна.

Третий способ применяется для проверки фенодат у растений и заключается в сопоставлении проверяемых дат с ходом термического режима. Этот способ применим лишь в тех случаях, когда известны параметры коррелятивной связи явления с суммой эффективных температур (СЭТ). Например, одуванчик зацветает при СЭТ 80 °С, шиповник – при СЭТ 250 °С. и т. д.

Для восстановления пропущенных дат применяют коррелятивный метод, основанный на связи между скоррелированными видами, сроки прохождения фаз у которых примерно совпадают.

Вычисление тренда

Фенологический тренд – направленное смещение сроков наступления сезонных явлений. Отрицательный тренд (линия вниз) – смещение сроков наступления явления к более ранним значениям – обозначается знаком «-»; положительный тренд – смещение сроков наступления явления к более поздним датам «+».

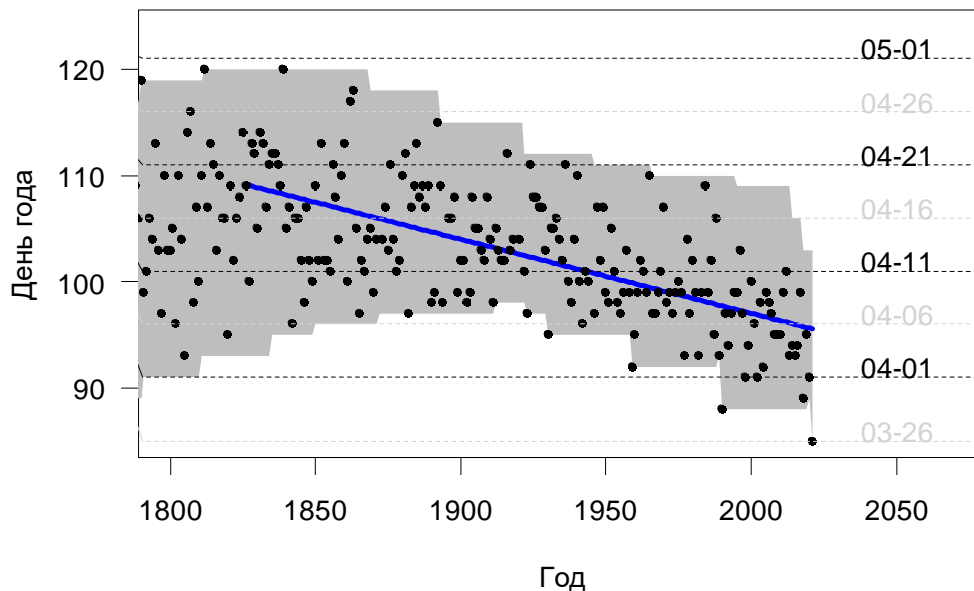


Рисунок 5. Даты цветения сакуры в г. Киото с 1800 по 2020 гг. (черные точки). Полигон с серой заливкой – минимальные и максимальные даты цветения, вычисленные в скользящем окне длиной 30 лет. Горизонтальные пунктирные линии показывают положения референсных дат, подписи референсных дат даны в формате «месяц – день». Синяя линия – линейная регрессия для дат с 1880 по 2020 гг.

В качестве примера, рассмотрим многолетний ряд фенологических дат цветения сакуры в Японии за последние 220 лет (Рис. 5). Линейная регрессия связи даты цветения с календарным годом в интервале наблюдений с 1880 г. по 2020 г. имеет следующее уравнение: $y = -0.055x + 207$. Таким образом, с каждым годом даты цветения сакуры смещаются к ранним срокам, и тренд смещения составляет 0.05 дней/год. Можно подсчитать, что за последние 220 лет деревья стали цвести на 12 дней раньше ($0.055 \cdot 220$).

Анализ связей фенофазы с температурой

Температурную характеристику периода протекания фенофазы можно давать в разной интерпретации: либо вычислять среднюю температуру, достижение которой необходимо для наступления фазы, либо характеризовать период протекания фенофазы суммами температур. Средние температуры не учитывают ежедневные изменения, показывающие повышение тепла или наступление похолодания (стимуляция или задержка).

Для полного цикла развития каждому организму требуется определенное количество биологически эффективного тепла, или

определенная сумма эффективных температур (СЭТ), превышающих температурный биологический минимум. Температурный биологический минимум – нижний температурный порог развития живых организмов. Для естественной растительности умеренных широт пороговая температура начала весенних явлений составляет +5°. Порог вегетации большинства культурных растений умеренной зоны +10°, теплолюбивых +15°.

Формула для расчета суммы эффективных температур:

$$\text{СЭТ} = (T - C) \cdot n,$$

где T – средняя суточная температура; n – число суток развития; C – нижний температурный порог развития.

Связь фенологических дат с погодными факторами определяется с помощью корреляционного анализа. Например, дата появления первых листьев дуба положительно коррелирует с апрельской температурой ($R = 0.7$), т.е. чем теплее апрель, тем раньше происходит распускание листьев.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Работа №1. Фенологические наблюдения в весенний период

Цель: проведение самостоятельных наблюдений за сезонными явлениями природы в весенний период времени.

Задание: в условиях города и сельского поселения выбрать несколько фенологических площадок. Провести полное описание п/п. Начать фенологические наблюдения согласно методике. Заполнить фенологическую анкету (Приложение №1, 2), по окончании сроков сдать ее преподавателю.

Оборудование и материалы: бинокль, фотоаппарат и фенологическая анкета.

Методические указания: необходимо соблюдать последовательность действий, приведенную в разделе «Организация фенологических наблюдений».

Контрольные вопросы:

1. Какие условия необходимо соблюдать при выборе фенологических площадок?
2. Укажите основные требования к наблюдениям?
3. Какое количество растений достаточно для регистрации фенофаз?

Работа №2. Фенологические наблюдения в осенний период

Цель: проведение наблюдений за сезонными явлениями природой в осенний период времени.

Задание: в условиях города и сельского поселения выбрать несколько фенологических площадок. Провести полное описание п/п. Начать фенологические наблюдения согласно методике. Заполнить фенологическую анкету (Приложение №3) и по окончании работы сдать преподавателю.

Оборудование и материалы: бинокль, фотоаппарат и фенологическая анкета.

Методические указания: необходимо соблюдать последовательность действий, приведенную в разделе «Организация фенологических наблюдений».

Контрольные вопросы:

1. Какие условия необходимо соблюдать при выборе фенологических площадок?
2. Укажите основные требования к наблюдениям в осенний период?
3. Какое количество растений достаточно для регистрации фенофаз?

Работа №3. Многолетняя динамика изменений фенодат начала облиствения и зацветания у древесно-кустарниковых растений

Цель: знакомство с процедурой вычисления фенологических трендов.

Задание: на сайте <http://atmenv.envi.osakafu-u.ac.jp/aono/kyophenotemp4/> возьмите данные по цветению сакуры в г. Киото с X века. Переведите даты в непрерывный ряд с использованием таблицы Зайцева (1981) (Приложение 4). Постройте графики связи даты зацветания сакуры от года, и оцените коэффициенты линейной регрессии фенологического тренда. Вычислите среднюю дату зацветания. Проведите анализ данных в разные периоды наблюдений, например в различных интервалах длительностью 100 лет.

Оборудование и материалы: компьютер с выходом в интернет.

Методические указания: необходимо соблюдать последовательность действий, приведенную в разделе «Обработка информации».

Контрольные вопросы:

1. Что такое линейная регрессия?
2. Как вычисляется фенологический тренд?
3. Какие вы знаете фенологические фазы у древесных растений?

Работа № 4. Анализ фенологических рядов

Цель: знакомство с процедурой анализа фенологических данных.

Задание: на сайте <http://biodat.ru> найти и скачать данные по цветению черемухи в Европейской части России. Вычислить среднюю дату цветения для разных географических пунктов. Выявить основные годы раннего и позднего цветения. Построить график даты цветения от года и вычислить фенологический тренд. Рассчитать и проанализировать корреляцию фенодат с температурой воздуха близлежащей метеостанции (взять на сайте Всероссийского научно-исследовательского института

гидрометеорологической информации – мирового центра данных (<http://meteo.ru>).

Оборудование и материалы: компьютер с выходом в интернет.

Методические указания: необходимо соблюдать последовательность действий, приведенную в разделе «Обработка информации».

Контрольные вопросы:

1. Что такое лимитирующий фактор?
2. Для чего нужна ранговая корреляция?
3. Что такое функция отклика и климатический сигнал?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев Г.Н. Фенология древесных растений. / М.: Наука, 1981. – 120 с.
2. Соловьев А. Н. Биота и климат. Региональная фенология. / М.: Пасьва, 2005. – 288 с.
3. Шульц Г.Э. Общая фенология. / Ленинград: Наука, 1981. – 181 с.
4. Askeyev O.V., Tishin D.V., Sparks T.H., Askeyev I.V. The effect of climate on the phenology, acorn crop and radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur*) in the Middle Volga region, Tatarstan, Russia // *Int. J. Biometeorology*, 2005. – Vol. 49. – P. 262-266.
5. Puchalka et al. Does tree-ring formation follow leaf phenology in Pedunculate oak (*Quercus robur* L.)? // *European Journal of Forest Research*, 2017. – V. 136 (2). – P. 259-267.
6. Wesolowski T. Timing of bud burst and tree-leaf development in a multispecies temperate forest // *Forest Ecology and Management*, 2006. – 237. – P. 387-393.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ФЕНОАНКЕТА №1

I. ЦВЕТЕНИЕ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ (202__год)

Наблюдатель Ф.И.О. _____ e-mail _____

Название вида	Начало цветения	Массовое цветение	Географический пункт, примечание
1. Мать-и-мачеха			
2. Одуванчик			
3. Хохлатка			
4. Ветреница			
5. Прострел			
6. Калужница			
7. Пролесник			
6. Медуница			
7. Первоцвет			
8. Ландыш			
9.			
10.			
11.			
12.			

II. ФЕНОЛОГИЯ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ (202__год)

Наблюдатель Ф.И.О. _____ e-mail _____

Виды	Фазы развития				Примечание (город, село, лес, поле).
	облиствение		цветение		
	начало	полное	начало	массовое	
<i>пример</i>	<i>29.04.</i>	<i>05.05.</i>	<i>09.05.</i>	<i>15.05</i>	<i>Казань, лесопарк Лебяжье кв...</i>
1. Ива					
2. Ольха					
3. Черемуха					
4. Клен ясенел.					
5. Лещина					
6. Липа					
7. Береза					
8. Рябина					
9. Осина					
10. Тополь					
11. Дуб					
12. Вяз					
13. Бузина					
14. Лиственница					
15. Сосна					
16. Клен острол.					
17. Вишня					
18. Яблоня					
19. Сирень					
20. Калина					
21. Шиповник					
22.					

Начало сокодвижения у деревьев: Вид _____ Дата _____ Место _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ФЕНОАНКЕТА №2

III. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЖИВОТНЫМИ (20__ год)

Наблюдатель Ф.И.О. _____ e-mail _____

№	Фенологическое явление	дата	географ. пункт, место встречи
	<i>Птицы</i>		
1	Первая песня Большой синицы		
2	Прилет Зеленушки		
3	Прилет Зяблика		
4	Прилет Чайки		
5	Грачи на гнездах		
6	Прилет Жаворонка		
7	Прилет Трясогузки		
8	Прилет Дрозда		
9	Прилет Скворца		
10	Первые стаи Гусей		
11	Первое кукование Кукушки		
12	Первая песня Соловья		
13	Прилет передовых Стрижей		
14			
15			
	<i>Рептилии и амфибии</i>		
1	Появление ужа		
2	Первый концерт лягушек		
	<i>Насекомые</i>		
1	Крапивница		
2	Лимонница		
3	Павлиний глаз		
4	Пчела		
5	Шмель		
6	Муравей		
7	Майский жук		

Разное:

1. Появление воронок вокруг деревьев _ дата география
2. Вскрытие реки, озера _ дата география
3. Последний день со снежным покровом (лес, город) _ дата география

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ФЕНОАНКЕТА №3

ФЕНОЛОГИЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД (20__ год)

Наблюдатель Ф.И.О. _____ e-mail _____

Древесно-кустарниковая растительность

Название вида	Полное пожелтение листвы	Полное опадение листвы	Географический пункт, примечание <i>город, село, лес или поле</i>
	<i>даты</i>		
<i>пример</i>	<i>02.10</i>	<i>19.10</i>	<i>Казань, лесопарк Лебяжье, сосновый лес</i>
Тополь			
Черемуха			
Липа			
Вяз			
Рябина			
Клен остролистный			
Клен ясенелистный			
Осина			
Береза			
Лиственница			
Сирень			
Дуб			
Бересклет			
Ива			
.....			
.....			
.....			

1. ДАТА ПОЯВЛЕНИЯ ПЕРВОГО СНЕГА _____
2. ЗАМОРОЗОК НА ПОЧВЕ _____
3. ЛЕДОСТАВ НА РЕКЕ _____
4. ЛЕДОСТАВ НА ОЗЕРЕ _____
5. ПОСЛЕДНЯЯ ВСТРЕЧА НАСЕКОМЫХ (СТРЕКОЗА, БАБОЧКА, МУРАВЕЙ) _____
6. _____
7. ПРИЛЕТ СВИРИСТЕЛЯ _____
8. НАЧАЛО ОТОПИТЕЛЬНОГО СЕЗОНА _____
9. ОБРАЗОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО СНЕЖНОГО ПОКРОВА _____
10. ПЕРВЫЙ МОРОЗ (НИЖЕ -10°C) _____

ФЕНОЛОГИЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Наблюдатель Ф.И.О. _____ e-mail _____

Участок №1
Вид растения _____

№	Фенологическая фаза	стадия	дата	Примечание
1	Пожелтение листьев	начало		
		полное		
2	Опадания листьев	начало		
		полное		
3	Созревание плодов	начало		
		полное		
4	Опадение плодов	начало		
		полное		
5		начало		
		полное		

Участок №2
Вид растения _____

№	Фенологическая фаза	стадия	дата	Примечание
1	Пожелтение листьев	начало		
		полное		
2	Опадания листьев	начало		
		полное		
3	Созревание плодов	начало		
		полное		
4	Опадение плодов	начало		
		полное		
5		начало		
		полное		

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица для перевода календарных дат в непрерывный ряд (Зайцев, 1981)

III март	IV апрель	V май	VI июнь	VII июль	VIII август	IX сентябрь
1	32	62	93	123	154	185
2	33	63	94	124	155	186
3	34	64	95	125	156	187
4	35	65	96	126	157	188
5	36	66	97	127	158	189
6	37	67	98	128	159	190
7	38	68	99	129	160	191
8	39	69	100	130	161	192
9	40	70	101	131	162	193
10	41	71	102	132	163	194
11	42	72	103	133	164	195
12	43	73	104	134	165	196
13	44	74	105	135	166	197
14	45	75	106	136	167	198
15	46	76	107	137	168	199
16	47	77	108	138	169	200
17	48	78	109	139	170	201
18	49	79	110	140	171	202
19	50	80	111	141	172	203
20	51	81	112	142	173	204
21	52	82	113	143	174	205
22	53	83	114	144	175	206
23	54	84	115	145	176	207
24	55	85	116	146	177	208
25	56	86	117	147	178	209
26	57	87	118	148	179	210
27	58	88	119	149	180	211
28	59	89	120	150	181	212
29	60	90	121	151	182	213
30	61	91	122	152	183	214
31		92		153	184	