

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ -
МСХА им. К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Институт агробиотехнологии
Кафедра метеорологии и климатологии

А.И. Белолобцев

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Методические указания

Москва
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
2024

УДК 551.502.4(078)
ББК 40.21я78
Б 43

Белолобцев, А.И. **Агрометеорология:** методические указания / Белолобцев А.И. Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва : РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2024. – 32 с. – Текст : электронный.

В методических указаниях отражены задания и правила самостоятельного выполнения контрольных работ по дисциплине «Агрометеорология».

Предназначено для бакалавров заочной формы обучения по направлению подготовки 35.03.05 Садоводство.

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией института садоводства и ландшафтной архитектуры (протокол № 5/2 от 28.03. 2024 г.).

© Белолобцев А.И. составитель, 2024
© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени
К.А. Тимирязева, 2024

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы, связанные с правильной оценкой и учетом факторов внешней среды, приемов их оптимизации, а также особенностей адаптивных реакций различных культурных растений на их изменения, приобрели в настоящее время особую актуальность. Решение этих проблем в современных условиях существенного роста экстремальности климата и всё возрастающей климатической составляющей в обеспечении безопасного функционирования агроландшафтов имеет большое значение.

Целью практического курса по дисциплине «Агрометеорология» является закрепление у студентов (бакалавров) теоретических знаний, приобретение умений и навыков в области природопользования для учета лимитирующих факторов погоды и климата, а также определения их влияния на объекты и процессы экосистем различного происхождения.

Основная задача методических указаний – познакомиться с современными методами оценки, учета и анализа метеорологических и агрометеорологических факторов, а также их сочетаний, на примере основных методов агрометеорологических прогнозов.

При выполнении практических заданий, в целях обеспечения самостоятельной работы студентов заочной формы обучения, все необходимые материалы представлены в данных методических указаниях. В них приведен порядок и примеры расчетов, а также задание и план выполнения контрольных работ. Для внеаудиторной подготовки студентов к занятиям приведен перечень разделов основной и дополнительной литературы по агрометеорологии для самостоятельной проработки и составления краткого конспекта по изученному материалу.

После каждой работы даны вопросы, которые помогут студентам проверить свои знания и лучше усвоить курс. Перечень вопросов в конце работы предназначен для самостоятельной подготовки к итоговому контролю.

Контрольная работа 1

ЗАМОРОЗКИ И ИХ ПРОГНОЗ

Заморозком называется понижение температуры воздуха или деятельной поверхности до 0°С и ниже на фоне положительных средних суточных температур воздуха. Наблюдения за заморозком ведутся по минимальному термометру.

Заморозки имеют место в переходные сезоны: весной и осенью, иногда летом. Опасны для сельскохозяйственных культур заморозки поздней весной и ранней осенью, во время вегетационного периода.

В зависимости от условий образования (происхождения) различают заморозки 3-х типов:

Адвективные заморозки возникают вследствие вторжения (адвекции) холодного воздуха арктического происхождения. Они, как правило, наблюдаются несколько суток подряд весной и поздней осенью при общем низком уровне температуры, облачности и ветре. Ниже 0° опускается не только минимальная, но часто и среднесуточная температура.

Радиационные заморозки обусловлены интенсивным охлаждением деятельной поверхности в результате ее теплового излучения в ясные ночи при невысоком уровне средних суточных температур воздуха. Они не продолжительны и часто отмечаются в пониженных местах - долинах, котловинах и т.д.

Адвективно-радиационные заморозки образуются вследствие адвекции холодной воздушной массы и дальнейшего радиационного выхолаживания в ночное время при ясном небе.

Заморозки первых двух типов наблюдаются ранней весной и поздней осенью адвективно-радиационные заморозки возможны и поздней весной, даже в начале лета, и ранней осенью, поэтому они наиболее опасны для сельскохозяйственных растений.

По интенсивности заморозки делятся на слабые (от 0 до -2°C), средние (от -3 до -5°C) и сильные (от -5°C и ниже). На интенсивность, продолжительность и повторяемость заморозков существенно влияет рельеф местности.

Благоприятной для возникновения заморозков является антициклональная погода: тихая, сухая, небо ясное или слегка покрытое легкими облаками.

Различают заморозки в воздухе и на почве. Заморозки на почве наблюдаются чаще и сильнее, чем в воздухе. Разница температур воздуха у поверхности почвы и на высоте 2 м может достигать 10°C .

Влияние заморозков на сельскохозяйственные культуры

Температура, ниже которой растения повреждаются или гибнут, называется критической. Она зависит от состояния растения, его вида и сорта, фазы развития.

В.Н.Степановым выделено пять групп сельскохозяйственных культур по их устойчивости к заморозкам в различные фазы развития.

1. Наиболее устойчивые, выносящие кратковременные заморозки до $-7...-10^{\circ}\text{C}$. Это озимые, ранние яровые и зернобобовые культуры.

2. Устойчивые, выдерживающие в начале развития заморозки до $-5...-7^{\circ}\text{C}$, в фазе цветения до $-2...-3^{\circ}\text{C}$. Это корнеплоды, лен, конопля.

3. Среднеустойчивые, выдерживающие в фазе всходов заморозки $-3...-4^{\circ}\text{C}$, в фазе цветения до $-1...-2^{\circ}\text{C}$. К этой группе можно отнести сою, редис, могоар и др.

4. Малоустойчивые - кукуруза, картофель, махорка. Они выносят температуру до -2°C , но в фазе цветения повреждаются при -1°C .

5. Неустойчивые к заморозкам теплолюбивые растения, всходы которых повреждаются уже при $-0,5...-1,5^{\circ}\text{C}$. Это гречиха, фасоль, хлопчатник и др.

Для плодовых и ягодных культур заморозки особенно опасны во время цветения и образования завязей.

Меры борьбы с заморозками

Дымление - способ защиты растений от радиационных заморозков за счет обогрева воздуха при горении, уменьшения эффективного излучения образованием дымовой завесы, конденсации влаги в воздухе (на частичках дыма) и, следовательно, выделения тепла. Тепловой эффект – 1..2°C.

Укрытие растений - используют различные светопрозрачные материалы, марлю, бумагу, пену и др.

Орошение - повышает температуру точки росы. Температура воздуха повышается на 1.5-2.0°C.

Среди других способов для защиты от заморозков могут применяться открытый обогрев, продувание посевов и насаждений, внесение калийных удобрений, известки, использование заморозкоустойчивых сортов, сроки сева и т.д.

Прогноз заморозков

Метод А.И. Михалевского. Для прогноза нужны данные, измеренные психрометром на высоте 2 м в 13 ч. Ожидаемую минимальную температуру воздуха $t_{в}$ на первом этапе рассчитывают по формуле

$$t_{в} = t' - (t - t') \cdot C, \quad (1)$$

для определения минимальной температуры на поверхности почвы $t_{п}$ применяется другая формула

$$t_{п} = t' - (t - t') \cdot 2C, \quad (2)$$

где t — температура воздуха по сухому термометру, t' — температура воздуха по смоченному термометру, C — коэффициент, зависящий от относительной влажности воздуха (табл. 19.4).

1. Коэффициент C в зависимости от относительной влажности воздуха f (%) в 13 ч

f	C	f	C	f	C
100	5,0	70	2,0	40	0,9
95	4,5	65	1,8	35	0,8
90	4,0	60	1,5	30	0,7
85	3,5	55	1,3	25	0,5
80	3,0	50	1,2	20	0,4
75	2,5	45	1,0	15	0,3

На втором этапе расчетов по наблюдениям за облачностью в 21 ч вычисление минимальные температуры по формулам 1 и 2 корректируют следующим образом:

а) если облачность меньше 4 баллов, то полученный минимум температуры воздуха и почвы уменьшают на 2°С;

б) если облачность от 4 до 7 баллов, то в рассчитанный минимум температуры поправки не вводят, т.е. оставляют результат, полученный в 13ч;

в) если облачность больше 7 баллов, то ожидаемый минимум температуры увеличивается на 2°С.

Результаты прогноза заморозков по методу Михалевского оцениваются в зависимости от минимальной температуры, полученной после уточнения в 21 ч:

Минимальная температура	Вероятность заморозка
Меньше -2°С	Заморозок ожидается
От -2° до +2°С	Заморозок вероятен
Больше 2°С	Заморозок маловероятен

Интенсивность заморозка меняется от характера рельефа, где расположены сельскохозяйственные поля. Полученные результаты о заморозке можно распространить на другие территории с учетом изменений их интенсивности в зависимости от местоположения.

Пример. Рассчитать вероятность заморозков в воздухе и на почве по формулам Михалевского, для чего использовать следующие данные: температура воздуха по сухому термометру в 13 ч была 10,0°С, по смоченному термометру 6,0°С. Относительная влажность 50%.

Решение. По величине относительной влажности в таблице 1 находим, что коэффициент $C = 1,2$. Подставляя значения в формулу (1), находим

$$t_{\text{в}} = 6,0 - (10,0 - 6,0) \cdot 1,2 = 1,2^{\circ}\text{С}$$

При наблюдениях в 21 ч облачность была 2 балла. Поэтому в рассчитанную величину вносим поправку равную -2°C . Ожидаемая минимальная температура воздуха будет $-0,8^{\circ}\text{C}$.

На поверхности почвы минимальная температура определяется по формуле (2)

$$t_{\text{п}} = 6,0 - (10,0 - 6,0) \cdot 2 \cdot 1,2 = -3,6^{\circ}\text{C}$$

С внесением поправок на облачность в 21 ч величина ожидаемого заморозка на почве будет $-3,6 + (-2) = -5,6^{\circ}\text{C}$. Следовательно, в воздухе заморозок вероятен, на почве - ожидается.

ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с методами прогноза заморозков.
2. Изучить классификацию сельскохозяйственных культур по устойчивости к заморозкам в разные фазы развития.
3. Составить прогноз заморозков по методу Михалевского на основе данных метеорологической станции или наблюдений на опытном участке.

Справочные материалы и принадлежности

Данные наблюдений метеорологической станции по температуре сухого и смоченного термометров, атмосферного давления, облачности:

Показатель	Варианты для расчетов			
	1	2	3	4
Температура сухого термометра в 13 ч., $^{\circ}\text{C}$	10,0	8,4	9,3	14,6
Температура смоченного термометра в 13 ч., $^{\circ}\text{C}$	6,0	4,2	4,0	9,3
Относительная влажность в 13 ч., %	60	50	40	50
Облачность в 21 ч., баллов	0	9	5	10

Примечание: возможен вариант получения названных элементов измерением непосредственно на сельскохозяйственном поле.

Порядок выполнения работы

1. Вычисляют, применяя формулу 1 и 2, ожидаемую минимальную температуру воздуха и почвы по данным за 13 ч. Температуру округляют до десятых долей градуса.

2. Вносят поправки на облачность по наблюдениям в 21 ч., в полученные минимальные температуры.

3. Оценивают вероятность заморозка в воздухе и на поверхности почвы, пользуясь данными.

4. Заносят результаты расчетов в таблицу 2.

2. Расчет вероятности заморозков

Показатель	Вариант задачи			
	1	2	3	4
Исходные данные				
1. Температура сухого термометра в 13 ч, °С				
2. Температура смоченного термометра в 13 ч, °С				
3. Атмосферное давление, гПа				
4. Облачность в 21 ч, баллы				
Расчетные данные				
5. Относительная влажность в 13 ч, %				
6. Коэффициент С				
7. Минимальная температура воздуха в 13 ч, °С				
8. Минимальная температура поверхности почв в 13 ч, °С				
9. Минимальная температура воздуха в 21 ч (с поправкой на облачность), °С				
10. Минимальная температура поверхности почвы в 21 ч (с поправкой на облачность), °С				
Оценка вероятности заморозка				
11. В воздухе				
12. На поверхности почвы				

5. Определяют изменение интенсивности заморозка от местоположения (табл. 3).

3. Интенсивность заморозка в зависимости от местоположения

Местоположение	Изменение интенсивности заморозка, °С	Вариант задачи			
		1	2	3	4
Вершины и верхние части склонов	+1,2				
Долины в холмистой местности	-3,0				
Котловины	-5,0				
Поляны	-2,0				
Города	+2,5				

6. Предполагают, какие сельскохозяйственные культуры, находящиеся в фазе всходов, могут быть повреждены от ожидаемых заморозков, пользуясь таблицей (Приложение).

Контрольные вопросы

1. В чем отличие заморозка от мороза?
2. Какой характер имеют адвективные заморозки, локальный или повсеместный?
3. Влияют ли местные условия на интенсивность адвективных заморозков?
3. Как прогнозируют адвективные заморозки?
5. Каково вертикальное распределение (стратификация) температуры воздуха в приземном слое при радиационном заморозке ?
6. Что такое эффективное излучение ?
7. Из чего складывается радиационный баланс деятельной поверхности в ночное время суток ?
8. Какие формы рельефа при радиационных заморозках способствуют наибольшим понижениям температуры ?
9. Как классифицируют растения по устойчивости к заморозкам (по В.Н.Степанову) ?
10. Как прогнозируют радиационные заморозки ?
11. Меры борьбы с заморозками.

Контрольная работа 2

ПРОГНОЗ ФАЗ РАЗВИТИЯ ПОЛЕВЫХ И ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ

Темпы развития растений теснейшим образом связаны с погодными условиями конкретного года. Давно было замечено, чем выше (до известного предела) температура воздуха в какой-то период, тем быстрее происходит образование новых органов или наступление новых фаз развития растений. Фазами развития сельскохозяйственных культур называются внешние морфологические изменения (всходы, кущение, колошение, молочная и восковая спелость и др.), связанные с процессом их развития. Фиксируя даты их наступления, мы тем самым можем судить о ходе развития растений в зависимости от особенностей погоды данного года.

Методика составления фенологического прогноза основана на зависимости темпов развития растений от теплового фактора. Основоположником фенологических прогнозов в агрометеорологии был А. А. Щиголев. Предложенный им метод расчета ожидаемых дат наступления фаз развития ряда сельскохозяйственных культур используется в агрометеорологии.

ПРОГНОЗ ФАЗ РАЗВИТИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Растения развиваются только при определенном уровне тепла. Для каждого вида растений существует свой нижний предел температуры, при котором начинается их развитие. Так, для многих культурных растений (зерновых, плодово-ягодных) нижним пределом их развития (биологическим нулем) считают 5°C . Для других, более теплолюбивых, сельскохозяйственных культур биологический минимум температуры выше (у кукурузы 10°C , хлопчатника 13°C).

Для того чтобы растение нормально развивалось и могло перейти из одной фазы в следующую, требуется определенная сумма тепла, которая должна накопиться за данный межфазный период. По мере накопления этой суммы наступает новая фаза развития растений.

Эту постоянную величину называют суммой эффективных температур ($\Sigma t_{эф}$), которую подсчитывают за весь межфазный период из средних суточных температур воздуха, уменьшенных на значение нижнего предела температуры развития данной сельскохозяйственной культуры:

$$\Sigma t_{эф} = (t_{cp} - B) n, \quad (2.1)$$

где $\Sigma t_{эф}$ – сумма эффективных температур, °С; t_{cp} – средняя суточная температура, °С; B – начальная температура развития, т. е. биологический нуль, °С; n – число дней.

Рассчитанные А.А. Щиголевым показатели сумм эффективных температур, необходимых для наступления фаз развития зерновых культур, приведены в таблице 1.

В различные годы продолжительность любого межфазного периода для какой-то сельскохозяйственной культуры может быть разная, но величина суммы эффективных температур для данного периода остается всегда постоянной. Для растений, у которых нижний предел развития равен 5°С, используется следующая формула составления фенологического прогноза:

$$D = D_1 + \frac{A}{t_{cp} - B} \quad (2.2)$$

где D – прогнозируемая дата наступления фазы развития; D_1 – начальная дата, от которой ведется расчет; A – постоянное значение суммы эффективных температур ($\Sigma t_{эф}$) за определенный межфазный период; t_{cp} – ожидаемая средняя суточная температура воздуха на ближайший период; B – нижний предел температуры (биологический нуль) развития растений.

1. Суммы эффективных температур выше 5 °С, необходимые для наступления фаз развития зерновых культур (по Щиголеву)

Межфазный период	Сумма эффективных температур °С, необходимая для наступления фаз развития						
	озимой пшеницы	озимой ржи	яровой пшеницы	ярового овса	проса	гречихи	
Посев—всходы	67	52	67	67	67	150	75
Всходы—кущение	67	67	67	67	67	—	—
Всходы—выметывание						600	
Всходы—начало цветения							275
Возобновление вегетации -выход в трубку в юго-восточных районах	100...150	100...150	—	—	—	—	—
в западных районах	50	50	—	—	—	—	—
Выход в трубку (выметывание) — колошение	330	183	283—305 (р) 330—355 (с) 375—400 (п)	330	378	—	—
Колошение—молочная спелость	230	319	230	—	—	—	—
Молочная спелость—восковая спелость	260	225	260 (м) 310 (т)	—	—	—	—
Колошение (цветение гречихи) — восковая спелость	490	544	490 (м)	388	428	—	470
Выметывание метелки — полная спелость	—	—	—	—	—	440	

Примечание: (р), (с), (п), (м), (т) — яровая пшеница, соответственно раннеспелая, среднеспелая, позднеспелая, мягкая, твердая.

За начальную дату D_1 составления прогноза обычно берут день массового наступления предыдущей фазы. Например, прогноз фазы восковой спелости у зерновых культур составляют заблаговременно, примерно за месяц, т. е. в фазу колошения.

Среднюю суточную температуру воздуха t_{cp} для искомого межфазного периода определяют по долгосрочному прогнозу погоды. Если по прогнозу погоды сведения о предполагаемом температурном режиме ненадежны, то

используют средние многолетние данные по температуре воздуха из агроклиматического справочника. Зная, какая средняя температура воздуха будет по прогнозу на ближайший месяц, можно подсчитать, сколько дней n необходимо для накопления суммы эффективных температур, которая требуется растению для данного межфазного периода.

Рядом авторов предложены несколько уточненные подходы к составлению фенологических прогнозов для отдельных культур. В частности, для определения даты наступления фазы выметывания метелки кукурузы Ю. И. Чирковым разработан метод, основанный на учете эффективной средней температуры воздуха прогнозируемого периода и числа листьев кукурузы, образуемых на главном стебле, как показателя сортового признака, связанного со скороспелостью сорта.

Между этими показателями существует устойчивая связь. Средняя сумма эффективных температур, приходящаяся на один межлистовой период, составляет $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Связь продолжительности всего периода листообразования (3-й лист– выметывание) выражается уравнением

$$n = \frac{30(N + 1)}{c(t - 10)} \quad (2.3)$$

где n — продолжительность периода, сут; N — число межлистовых периодов до появления последнего листа; t — средняя температура периода, $^\circ\text{C}$.

Определив число заложённых листьев, и зная среднюю сумму эффективных температур одного межлистового периода, можно от даты появления очередного листа вычислить сумму температур, необходимую для выметывания метелки и рассчитать дату наступления этой фазы.

Таким образом, задача составления фенологического прогноза состоит в нахождении продолжительности межфазного периода n по прогнозируемой для данного периода средней суточной температуре воздуха $t_{\text{ср}}$, постоянной

сумме эффективных температур A и биологическому нулю B развития сельскохозяйственной культуры.

Пример. Сумма эффективных температур A межфазного периода яровой пшеницы «выход в трубку – колошение» составляет 330 °С, прогнозируемая средняя суточная температура воздуха t_{cp} данного межфазного периода 20°С, нижний предел развития растений $B = 5^{\circ}\text{C}$. Определить дату наступления фазы колошения яровой пшеницы.

По формуле (2.2) находят, продолжительность межфазного периода:

$$n = A/(t_{cp} - B) = 330/(20 - 5) = 22 \text{ дня.}$$

Для вычисления даты наступления прогнозируемой фазы D развития сельскохозяйственной культуры в данном году к исходной дате D_1 составления прогноза 08.06 прибавляют число дней n , требующихся для прохождения межфазного периода:

$$D = D_1 + n = 08.06 + 22 = 30.06$$

Следовательно, ожидаемая дата наступления фазы колошения яровой пшеницы 1 июля (на следующий день)

ПРОГНОЗ СРОКОВ ЦВЕТЕНИЯ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

Из фенологических прогнозов наибольшее распространение получили прогнозы сроков цветения плодовых культур, сроков созревания сельскохозяйственных культур и др.

В процессе роста и развития плодовых культур отмечают следующие фазы: набухание почек, распускание почек, разворачивание первых листьев из ростовых почек, обособление бутонов, цветение, формирование (рост) плодов, созревание плодов, осеннее расцветивание листьев, листопад. Кроме того, отмечают окончание роста побегов в длину, вторичный рост побегов, вызревание древесины.

Наиболее важным в развитии плодовых деревьев – период их цветения. Сведения об ожидаемых сроках цветения дают возможность

своевременно провести агротехнические мероприятия по уходу за садами весной и подготовиться к защите плодовых насаждений от заморозков.

Прогноз сроков начала и конца цветения плодовых культур в средней в полосе европейской части страны составляют по методу А. А. Щиголева, основанному на зависимости темпов развития растений от термических условий. Благодаря теоретическим разработкам и анализу материала многолетних фенологических наблюдений А.А. Щиголевым вычислены суммы эффективных температур, необходимые в период от возобновления вегетации до начала цветения, и от начала до окончания цветения. Видовые и сортовые особенности каждой плодовой культуры обуславливают различные требования растений к теплу. Для многих сортов яблони сумма эффективных температур A от начала вегетации до цветения составляет $185^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$, груши – $125 \pm 10^{\circ}\text{C}$, сливы – 125 ± 10 , абрикоса – 90°C .

Дату начала цветения плодовых деревьев, к которой накопится соответствующая сумма эффективных температур, вычисляют по формуле (2.2). В этой формуле

$$\frac{A}{t_{\text{cp}} - B} = n, \quad (2.4)$$

где n – число дней, которое требуется от возобновления вегетации до начала цветения.

Следовательно, для составления прогноза необходимы следующие основные исходные данные: дата возобновления вегетации плодовых культур, которая совпадает с датой устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5°C , сумма эффективных температур за межфазный период (начало вегетации – начало цветения), среднесуточная температура за прогнозируемый период t_{cp} , определяемая по долгосрочному прогнозу погоды или по многолетним данным.

Прогнозируемая дата наступления фазы

$$D = D_1 + n, \quad (2.5)$$

где D_1 – начальная дата составления прогноза, n – число дней.

Этот способ расчета применяют, если до даты составления прогноза не отмечалась эффективная температура выше 5 °С. Но обычно прогноз составляют несколько позже устойчивого перехода средней суточной температуры через 5 °С, когда некоторая сумма эффективных температур уже накопилась; тогда расчеты проводят по формуле

$$D = D_2 + \frac{A - \sum t_{\text{эф}}}{t_{\text{ср}} - B}, \quad (2.6)$$

где D_2 – дата составления прогноза после возобновления вегетации; $\sum t_{\text{эф}}$ – сумма эффективных температур, накопившаяся от даты возобновления вегетации до даты составления прогноза, °С.

При составлении фенологических прогнозов необходимо учитывать рельеф местности, который может изменить температурные условия, что отразится на сроках начала цветения плодовых культур. Сады, расположенные на южном склоне, зацветут на 1–2 дня раньше, чем на равнине, а на северном — на 2...3 дня позже. Датой начала и конца цветения надо считать следующий день после накопления требуемой суммы эффективных температур.

Рассмотрим методику определения ожидаемой даты цветения яблони сорта Антоновка обыкновенная на примере станции Дмитров Курской области, используя данные таблицы 3.

Прогнозируемую дату наступления фазы цветения яблони находят, суммируя число дней за вторую декаду мая и число дней, за которые накопится недостающая до нормы N сумма эффективных температур в III декаде мая.

1. Вычисляют недостающую сумму эффективных температур до нормы (185 °С), которая должна накопиться к началу цветения со времени

составления прогноза (с 11 мая): $185 - 90 = 95 \text{ }^\circ\text{C}$.

2. Рассчитывают сумму эффективных температур, которая накопится за II декаду мая, по средней многолетней декадной температуре, составляющей $13,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

С учетом поправки на прогноз погоды средняя декадная температура во II декаде мая будет $13,8 - 2 = 11,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рассчитывают сумму эффективных температур за II декаду мая:

$11,8 - 5 = 6,8 \text{ }^\circ\text{C}$ — средняя суточная эффективная температура, которая накапливается за каждый день,

$6,8 \cdot 10 = 68 \text{ }^\circ\text{C}$ — сумма эффективных температур за II декаду мая (за 10 дней).

3. Вычисляют сумму эффективных температур, которая накопится за весь период от времени возобновления вегетации до конца II декады мая:

$$90 + 68 = 158 \text{ }^\circ\text{C}$$

сумму эффективных температур, недостающую до нормы:

$$185 - 158 = 27 \text{ }^\circ\text{C}.$$

4. Рассчитывают, на какой день III декады мая накопится недостающая сумма эффективных температур (27°C). Для этого определим ее величину за каждый день этой декады.

Средняя многолетняя декадная температура воздуха по исходным данным на станции Дмитров равна $15,6^\circ\text{C}$, а с поправкой на прогноз погоды в данном году она будет составлять $15,6 - 2 = 13,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вычитая биологический минимум, получают сумму эффективных температур, которая накапливается за каждый день, $13,6 - 5 = 8,6^\circ\text{C}$.

Недостающая сумма эффективных температур, равная $27 \text{ }^\circ\text{C}$, накопится за 3 дня:

$$27 : 8,6 \approx 3 \text{ дня}.$$

5. Находят общее число дней, которое необходимо для накопления нормы ($185 \text{ }^\circ\text{C}$):

$$n = 10 + 3 = 13.$$

6. Определяют по формуле дату начала цветения яблони:

$$D = D_2 + n = 10.05 + 13 = 23.$$

Следовательно, цветение яблони наступит 24 мая (на следующий день).

Уточняют даты начала цветения яблони с учетом рельефа местности, занятой под садом.

Сравнивают вычисленную дату начала цветения яблони с многолетней датой наступления этой фазы (по агроклиматическому справочнику).

ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с методикой составления прогноза фаз развития полевых и плодовых растений.
2. Составить прогноз сроков наступления фаз развития зерновых культур.
3. Составить прогноз даты начала цветения яблони.
4. Записать результаты расчетов в таблицу (в рабочую тетрадь).

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Справочники: «Агроклиматические справочники по областям»; «Агроклиматические ресурсы по областям». Декадные агрометеорологические бюллетени, долгосрочный прогноз погоды на июнь (июль, август).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Прогноз сроков наступления фаз развития зерновых культур.

1. Изучают методику составления прогнозов фаз развития сельскохозяйственных культур.

2. Составить прогноз ожидаемых сроков наступления фаз развития яровых зерновых культур: колошения яровой пшеницы (начальная фаза — выход в трубку); восковой спелости яровой пшеницы (колошение); выметывания овса (выход в трубку); восковой спелости овса (выметывание).

3. Использовать для расчета исходные данные таблицы 2.

2. Форма для расчета ожидаемой даты наступления фазы

Культура и сорт	Исходная фаза развития растения	Дата составления прогноза (D ₁)	Сумма эффективных температур за межфазный период (A), °C	Средняя суточная температура прогнозируемого периода (t ср), °C	Биологический нуль (B), °C	Продолжительность межфазного периода (n), дней	Ожидаемая дата наступления фазы (D)
Яровая пшеница	выход в трубку	12.06	330	18,0	5		
Яровая пшеница	колошение	7.07	490	20,5	5		
Овес	выход в трубку	21.06	375	16,0	5		
Овес	выметывание	25.07	428	20,5	5		

2. Прогноз даты начала цветения яблони.

1. Изучают методику составления сроков цветения плодовых культур.
2. Составляют прогноз даты начала цветения яблони сорта Антоновка обыкновенная для отдельных пунктов Курской области.
3. Использовать для расчета исходные данные таблицы 3.

3. Форма для расчета ожидаемой даты начала цветения яблони

Наименование пункта	Дата составления прогноза, (D ₀)	$\Sigma t_{эф}, ^\circ C$		Среднесуточная температура в мае (норма), $^\circ C$		Биологический нуль (B), $^\circ C$	Продолжительность периода от составления прогноза до цветения (П), дней	Дата начала цветения (D)
		за межфазный период (A)	на дату составления прогноза (A ₁)	II декада	III декада			
Поныри	10.05	185	79	13,1	15,0	5		
Дмитров	10.05	185	90	13,8	15,6	5		
Ушаково	10.05	185	90	13,5	15,4	5		
Рыльск	10.05	185	114	14,0	15,7	5		
Обоянь	10.05	185	104	14,0	15,9	5		

Примечание. По прогнозу погоды среднесуточная температура воздуха в мае ожидается на 2 $^\circ C$ ниже средней многолетней нормы.

Контрольные вопросы

1. Какую температуру называют эффективной, и как ее рассчитывают?
2. Какие показатели используют для составления прогноза фаз развития полевых и плодовых культур?
3. Какие фазы развития сельскохозяйственных растений вы знаете?
4. Что называют биологическим нулем развития растений, и какие значения он может иметь?
5. В чем практическое значение прогноза ожидаемых сроков наступления фаз развития полевых и плодовых культур?

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ К ТЕКУЩЕМУ И ПРОМЕЖУТОЧНОМУ КОНТРОЛЮ ЗНАНИЙ

1. Солнечная радиация. Три основные части спектра. Единица измерения солнечной радиации.
2. Виды радиации. Радиационный баланс и его составляющие. Альбедо.
3. Солнечная постоянная. Ослабление солнечной радиации и изменение ее состава при прохождении через атмосферу.
4. Фотосинтетически активная радиация (ФАР). Значение для сельскохозяйственных растений. КПИфар в различных посевах. Пути эффективного использования солнечной радиации в сельском хозяйстве
5. Тепловые свойства почвы. Теплообмен в почве. Суточный и годовой ход температуры почвы разных типов. Законы Фурье.
6. Термоизоплеты. Замерзание и оттаивание почвы. Значение учета температуры почвы для сельского хозяйства.
7. Теплообмен в воздухе. Тепловой баланс.
8. Распределение температуры воздуха по вертикали в приземном слое воздуха. Инверсия температуры.
9. Суточный и годовой ход температуры воздуха. Значение температурного режима воздуха для сельскохозяйственного производства.
10. Средняя суточная температура воздуха, экстремумы, амплитуды, суммы температур, методы их расчета.
11. Величины, характеризующие влажность воздуха, способы их выражения, единицы измерения, значение в сельском хозяйстве.
12. Испарение и испаряемость. Испарение с водной поверхности, поверхности растений и почвы. Единицы измерения.
13. Влияние метеофакторов на испарение и транспирацию, закон Дальтона. Регулирование испарения с поверхности почвы в сельском хозяйстве.
14. Конденсация и сублимация водяного пара. Продукты конденсации, их сельскохозяйственное значение.

15. Осадки. Виды и типы. Методы измерения, значение для сельскохозяйственного производства.
16. Облака и их классификация, связь с типами и видами осадков.
17. Снежный покров. Методы измерения, сельскохозяйственное значение.
18. Почвенная влага. Методы измерения. Водный баланс поля.
19. Продуктивная влага в почве и ее значение для сельскохозяйственного производства. Методы регулирования.
20. Давление воздуха и методы его измерения. Изменение давления по вертикали и горизонтали. Барометрическое нивелирование.
21. Ветер. Методы измерения. Значение для сельского хозяйства.
22. Погода. Периодические и непериодические изменения погоды. Воздушные массы. Атмосферные фронты. Основные барические системы.
23. Методы прогноза погоды. Синоптическая карта. Служба погоды и ее значение для сельскохозяйственного производства.
24. Заморозки. Их типы. Классификация по их действию на сельскохозяйственные культуры. Распределение опасных заморозков.
25. Влияние местных условий на заморозки. Методы предсказания заморозков и меры борьбы с ними.
26. Засухи и суховеи. Их критерии. Меры борьбы с ними.
27. Пыльные бури, град, меры борьбы с ними.
28. Неблагоприятные агрометеорологические явления зимнего периода. Их влияние на зимующие культуры.
29. Климат. Климатообразующие факторы. Особенности климата России (классификация Л. С. Берга).
30. Методы сельскохозяйственной оценки климата. Оценка ресурсов тепла, влаги, перезимовки и неблагоприятных условий.
31. Агроклиматическое районирование, общее и частное.
32. Основные виды и формы агрометобслуживания сельскохозяйственного производства.
33. Организация агрометпоста, программа наблюдений.

34. Основные виды агрометнаблюдений на сети станций Росгидромета.
35. Научные основы методов агрометеорологических прогнозов и их виды.
36. Агрометпрогнозы урожайности сельскохозяйственных культур.
37. Влияние рельефа на метеорологический режим приземного слоя воздуха. Местная циркуляция атмосферы. Бриз, фён, бора, горно-долинный ветер.
38. Микроклимат и фитоклимат. Значение их учета для сельского хозяйства. Мелиорация микроклимата сельскохозяйственных полей.
39. Состав атмосферы и почвенного воздуха. Меры борьбы с загрязнением атмосферы.
40. Влияние растительного и снежного покрова на температуру почвы.
41. Влияние влажности воздуха на способы уборки и производительность комбайнов.
42. Зависимость темпов развития сельскохозяйственных растений от метеорологических факторов. Прогноз основных фаз развития.
43. Применение данных агрометеорологических наблюдений в полевых опытах, оценка погодных условий вегетационного периода.
44. Предмет агрометеорологии, методы исследований, связь с другими науками.
45. Агроклиматические особенности Нечерноземной зоны России.
46. Агрометеорологический прогноз теплообеспеченности вегетационного периода.
47. Агрометеорологический прогноз запасов продуктивной влаги к началу вегетационного периода.
48. Агрометеорологический прогноз состояния озимых зерновых в период перезимовки.
49. Перспективные виды агрометеорологических наблюдений.
50. Продуктивная влага в почве. Формула расчета. Основные агрогидрологические константы.
51. Декадный агрометеорологический бюллетень и его применение в агрономической практике.

52. Агрометеорологические условия, вызывающие вымерзание озимых зерновых культур.
53. Агрометеорологические условия, вызывающие выпревание озимых зерновых культур.
54. Циклон и антициклон. Условия формирования и характер погоды, обусловленный ими.
55. Радиационный заморозок. Формирование, влияние местных условий. Прогноз заморозков.
56. Современные колебания и изменения климата. Антропогенное влияние на климат.
57. Нормативные агрометеорологические показатели использования ФАР сельскохозяйственными растениями.
58. Нормативные агрометеорологические показатели потребности в тепле основных сельскохозяйственных культур.
59. Нормативные агрометеорологические показатели потребности во влаге основных сельскохозяйственных культур.
60. Нормативные агрометеорологические показатели действия заморозков на сельскохозяйственные культуры.
61. Нормативные агрометеорологические показатели условий работы комбайна при уборке зерновых.
62. Нормативные агрометеорологические показатели засух и суховеев.

Дополнительные разделы для профиля "Защита растений"

1. Влияние метеорологических факторов на распространение и деятельность вредителей и болезней сельскохозяйственных культур.
2. Метеорологические условия возникновения фитофторы и прогноз фитофторы томатов
3. Влияние метеорологических условий на распространение вредных насекомых на примере колорадского жука.

Дополнительные разделы для направления «Садоводство»

1. Условия перезимовки плодовых деревьев (определение их жизнеспособности).
2. Потребности в тепле плодовых деревьев.
3. Меры защиты плодовых деревьев от неблагоприятных метеорологических явлений.
4. Критические температуры, повреждающие плодовые культуры в зимний период (их кроны, ростовые почки, цветочные почки, корни).
5. Ослабление солнечной радиации и изменение ее спектрального состава при прохождении покрытия теплицы.
6. Особенности микроклимата теплиц.
7. Суточный ход метеорологических элементов над защищенным грунтом.
8. Особенности возделывания культур в условиях защищенного грунта (утепленный грунт, парники, теплицы).

Дополнительные разделы для направления "Агрохимия и агропочвоведение"

1. Зависимость эффективности применения удобрений от температуры и влагозапасов в почве.
2. Влияние минерального питания на устойчивость растений к заморозкам и их зимостойкость.

Вопросы по приборам

(назначение, устройство, принцип работы и методика определения)

1. Психрометр стационарный.
2. Психрометр аспирационный.
3. Термометр максимальный.
4. Термометр минимальный.
5. Термометры коленчатые.
6. Осадкомер, дождемеры: полевой и почвенный, плювиограф.
7. Анемометр ручной, роза ветров.

8. Флюгер Вильда, анеморумбометр.
9. Снегомер, снегомерная съемка.
10. Мерзлотомер Данилина.
11. Гигрометр волосной.
12. Термометры, устанавливаемые на поверхности почвы.
13. Пиранометр.
14. Альбедометр.
15. Анероид; барическая ступень, барометрическое нивелирование.
16. Термограф; обработка термограммы.
17. Почвенно-глубинные (вытяжные) термометры.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Основная литература

1. Белолобцев А.И., и др. Практикум по агрометеорологии и агрометеорологическим прогнозам. М.: БИБКМ, ТРАНСЛОГ, 2015.
2. Грингоф И.Г., Федорова З.С., Белолобцев А.И. и др. Практикум по агрометеорологии. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2018.
3. Грингоф И.Г., Клещенко А.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том 1. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011.
4. Грингоф И.Г., Павлова В.Н. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том 3. Основы агроклиматологии. Влияние изменений климата на экосистемы, агросферу и с.х. производство. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013.
5. Журина Л.Л., Лосев А.П. Агрометеорология. СПб.: Квадро, 2012.

6. Дополнительная литература

1. Агроклиматические ресурсы // Справочники по областям и республикам. Л.: Гидрометеиздат, 1971-1978.
2. Грингоф И.Г., Бабушкин О.Л. Климат, погода и пастбищное

- животноводство. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2010.
3. Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. СПб.: Гидрометеоиздат, 2005.
 4. Зоидзе Е.К. Погода, климат и эффективность труда в земледелии. Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
 5. Карлин Л.Н., Ванкевич Р.Е., Тумановская С.М. и др. Гидрометеорологические риски. С-Пб.: Изд-во РГГМУ, 2008.
 6. Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры. Л.: Гидрометеоиздат, 1984.
 7. Сенников В.А., Ларин Л.Г., Белолубцев А.И. и др. Практикум по агрометеорологии. М.: «КолосС», 2006.
 8. Мищенко З.А. Агроклиматология. Изд-во КНТ, 2009.
 9. Моисейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. Л.: Гидрометеоиздат, 1975.
 10. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. СПб.: Гидрометеоиздат, 2000.
 11. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.
 12. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л.: Гидрометеоиздат, 1975.
 13. Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. Л., Гидрометеоиздат, 1985.
 14. Шульгин И.А. Солнечные лучи в зеленом растении. М.: Изд-во «ООО ПКЦ Альтекс», 2009.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

В рамках учебного курса студенты используют базы данных многолетних метеорологических наблюдений станций и постов. Возможен оперативный обмен информацией с отечественными и зарубежными вузами, предприятиями и организациями: Одесским государственным экологическим университетом (ОГЭКУ), <http://www.ogmi.farlep.odessa.ua/>; Всероссийским

научно-исследовательским институтом сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ), <http://cxm.obninsk.org/>; Российским национальным комитетом содействия Программе ООН по окружающей среде (НП «ЮНЕПКОМ»), <http://www.unepcom.ru/> и др.

Полезные ссылки для поиска информации по агрометеорологии, а также самостоятельного изучения дисциплины:

- Российский гидрометеорологический портал - <http://www.meteo.ru/>
- Кафедра метеорологии МГУ - <http://meteo-geofak.narod.ru>
- Российский государственный гидрометеорологический университет - <http://www.rshu.ru/>
- Дальневосточный научно-исследовательский гидрометеорологический институт - <http://www.ferhri.org/>
- Различные ресурсы по метеорологии и климатологии - <http://www.einet.net/directory/14778/Meteorology.htm>
- Геофизический институт Университета штата Аляска - <http://www.gi.alaska.edu/>
- DISsertations initiative for the advancement of Climate Change ReSearch (ресурсы по климату) - <http://disccrs.org/>
- Карты текущего и в ближайшие 144 часа состояния атмосферы Земли - <http://wxmaps.org/pix/ea.fcst.html>
- Текущая и прогностическая информация, аналогичная ГИС "МЕТЕО", по Восточной Азии (английский) - <http://ddb.kishou.go.jp/grads.html>
- Отдел тропических циклонов Монтеррей (английский) - <http://www.nrlmry.navy.mil/TC.html>
- Сообщество экспертов - "Метеорология" (Различные материалы) - http://meteorology.report.ru/_5FolderID_24_.html
- Сайт "МетеоЦентр" - <http://www.meteocenter.net/>

Культура	Прорастание семян, интервал наибольшей всхожести	Появление всходов		Интервал активного развития и формирования высокого урожая	Отношение к заморозкам				Критические температуры на глубине узла кущения озимых
					повреждающие		губительные		
		минимум	оптимум		весной	летом	весной	летом	
Озимая пшеница	2-30'	4-5	15-20	8-23	-9...-10	-3...-4	-10..-12	-5	-16. .-18 (-22)*
Озимая рожь	2-26	4-5	15-20	7-23	-8...-10	-3...-4	-10...-12	-5	-24 (-28)*
Яровая пшеница	4-30	4-5	15-20	10-23	-8.-9	-1...-2	-10. ...-12	-2...-4	
Яровой ячмень	4-26	4-5	15-22	10-23	-8.-9	-1...-2	-9. -11	-2...-4	
Овес	4-30	4-5	15-18	10-23	-8.-9	-1...-2	-9..-11	-2...-4	
Кукуруза	20-36	10-12	18-30	15-25	-1...-2	-1...-2	-3...-4	-2...-4	
Гречиха	6-32	10-12	15-22	15-22	-3...-4	-	-5...-6	-	
Горох	8-34	4-5	15-25	10-20	-4...-5	-2	-6...-7	-	
Соя	20-36	6-7	12-16	15-22	-	-1...-2	-	-3... -4	
Лен долгунец	2-16	5-6	15-18	10-20	-5.. -6	-2...-3	-7...-9	-4...-5	
Сах.свекла	10-20	6-7	15-20	15-23	-	-4-6	-	-7...-8	
Картофель	12-20	7-8	18-20	10-20	-2...-3	-1...-2	-4...-5	-3...-4	
Томаты	20-30	15-18	20-30	15-30	-	-2...-3	-	-3	

*- в скобках – критическая температура наиболее морозостойких сортов

Заморозкоопасность различных форм рельефа

Форма рельефа	Холодный воздух		Изменения по сравнению с равниной	
	приток	сток	минимальной температуры за ночь весной и осенью (°С)	длительности безморозного периода (дни)
Вершины, верхние и средние части крутых склонов (больше 10°)	Нет	Хороший	от 3 до 5	от 15 до 25
Вершины и верхние части пологих склонов (меньше 10°)	Нет	Есть	от 1 до 3	от 5 до 15
Равнины, плоские вершины	Нет	Нет	0	0
Долины больших рек, берега водоемов	Есть	Есть	от 2 до 4	от 10 до 20
Котловины	Есть	Нет	от -4 до -6 и более	от -20 до -30 и более
Замкнутые, широкие, плоские долины	Есть	Почти нет	от -4 до -6 и более	от -20 до -30 и более

Учебное издание

Составители:
Белолобцев Александр Иванович

Агрометеорология

Методические указания

Издается в редакции составителей
Корректурa составителей