

С. Н. ДРОЗДОВ, Ю. Е. НОВИЦКАЯ,
А. А. КОМУЛАЙНЕН, В. К. КУРЕЦ

ВЛИЯНИЕ ЗАМОРОЗКОВ НА УРОЖАЙ И НЕКОТОРЫЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ У ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

В Карелии, которая расположена между $61^{\circ}41'$ и $66^{\circ}39'$ с. ш., короткое прохладное лето. Продолжительность безморозного периода здесь в среднем 102 дня; в отдельные годы она колеблется от 60 до 150 дней.

По данным агроклиматического справочника, весенние заморозки в северных районах Карелии прекращаются обычно во второй декаде июня, а первые осенние заморозки начинаются в третьей декаде августа. Даты последнего и первого заморозка в воздухе, а также продолжительность безморозного периода определены на основании показаний минимального термометра, установленного на высоте 2 м от поверхности почвы. Продолжительность безморозного периода практически сокращается еще на 1,5—2 декады, так как в указанном двухметровом слое воздуха наиболее низкая температура бывает на высоте 2 см над поверхностью почвы. Таким образом, заморозки в условиях Карелии, особенно в низких местах и над растительным покровом, возможны в течение всего вегетационного периода. О величине убытка, причиняемого сельскому хозяйству Карелии поздневесенними, летними и ранне-осенними заморозками, говорит тот факт, что почти ежегодно на значительных площадях происходит полная гибель посевов даже таких наиболее устойчивых к заморозкам культур, как яровые зерновые (по данным Управления государственного страхования Карельской АССР).

Помимо потерь, связанных с полной гибелью отдельных участков посевов, хозяйства несут значительный урон и от частичного повреждения растений заморозками вследствие уменьшения ассимиляционной поверхности листьев.

Мало изученным остается также вопрос о влиянии неглубоких кратковременных заморозков на урожай и качество сельскохозяйственной продукции, когда не остается внешних признаков повреждения растений. Большинство существующих мер борьбы с заморозками дают мало эффекта и обходятся дорого, что в значительной мере объясняется далеко не полной изученностью физиологической стороны действия заморозков на сельскохозяйственные растения. Глубокое изучение изменений физиологических процессов в растениях, вызванных заморозком, позволит более целенаправленно вести борьбу с его отрицательными последствиями.

В связи с этим авторы поставили задачу вскрыть сущность влияния заморозка на физиологические процессы у растений, а затем на основании полученных данных найти агробиологические и агротехнические приемы, ведущие к смягчению или полному устранению этого влияния на урожай и качество сельскохозяйственной продукции.

В 1959 г. на экспериментальной базе Института биологии Карельского филиала АН СССР были оборудованы камеры для получения искусственных заморозков адвективного типа. В течение лета здесь проводились опыты с различными растениями, в том числе с яровой пшеницей сорта Диамант. Результаты опытов с пшеницей послужили предметом данного сообщения.

Растения выращивались в вегетационных сосудах размером 15×25 см на 5 кг супесчаной почвы, удобренной (в расчете на сосуд) аммиачной селитрой — 1,44 г, суперфосфатом — 3,9, хлористым калием — 0,84 г, молибденовокислым аммонием и борной кислотой — по 0,05 г., медным купоросом — 0,10 и мелом — 8 г. В сосуде выращивалось по 10 растений при четырехкратной повторности. Полив проводился ежедневно, по весу, из расчета 60% от полной влагоемкости почвы. Растения подвергались действию заморозков в разные периоды онтогенеза. Для изучения условий перед заморозком, влияющих на растения, последние 5 суток до заморозка выдерживались в вегетационных камерах с разной температурой воздуха и естественным освещением.

За основу вегетационной камеры был принят несколько видоизмененный Тимирязевский вегетационный домик с дополнительным устройством для регулирования температуры (рис. 1). Температура воздуха в этом устройстве регулируется при помощи электрического калорифера и водного охладителя. Калорифер мощностью около 2800 вт — двухсек-

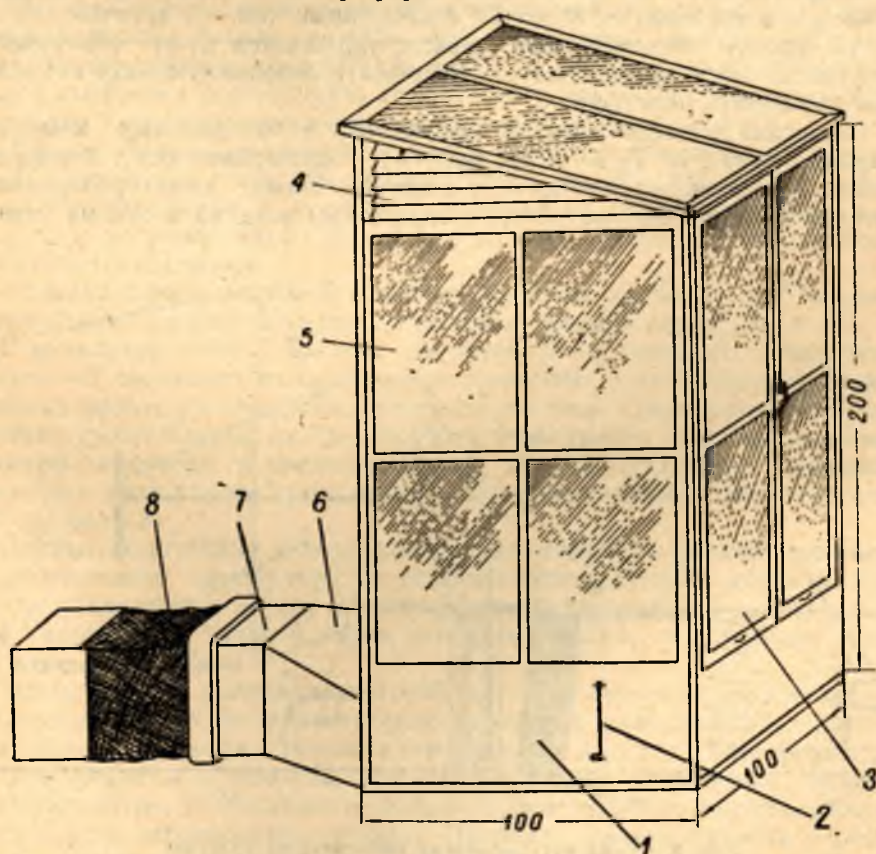


Рис. 1. Общий вид вегетационной камеры с регулируемой температурой:

1 — поддон; 2 — ветровой крючок; 3 — южная дверь-стенка; 4 — жалюзи; 5 — камера;
6 — воздухоподогреватель; 7 — калорифер; 8 — охладитель

ционный. Первая секция, мощностью 1400 вт, включается автоматически, терморегулятором, расположенным внутри камеры, вторая — вручную (в зависимости от заданного режима и внешней температуры). Из указанного выше устройства воздух подается в камеру при помощи вентилятора (рис. 2).

Охладитель состоит из автомобильного радиатора, перед которым расположена труба из оцинкованного железа с продольным желобом в верхней части. Труба покрыта мешковиной, погруженной в желоб и смачиваемой по принципу фитиля. Мокрая мешковина служит для пароиспарительного охлаждения трубы в солнечную погоду, а также теплоизолятором в холодные ночи. В передней части трубы поставлен водяной экран в виде жалюзи из желобов оцинкованного железа с мелкими отверстиями. Холодная вода подается в нижнюю горловину радиатора, проходит через него и выливается из верхней горловины в желоб на трубе, откуда попадает на водяной экран, одновременно смачивая мешковину.

Рассмотренная система обеспечивает охлаждение воздуха до температуры, близкой к температуре охлаждающей воды.

При использовании родниковой или артезианской воды, имеющей даже в теплую погоду температуру 6—8°, рекомендуемая система регулирования температуры воздуха в вегетационной камере обеспечивает поддержание заданной температуры с точностью $\pm 2-3^\circ$ в ночные часы и в пределах от 8° до 30° в пасмурные дни. В дневные часы в ясную погоду температурный режим нарушается из-за солнечного перегрева. В такое время следует раскрывать переднюю стенку камеры, чтобы уменьшить перегрев.

Заморозки в наших опытах создавались в холодильных камерах емкостью около 2 м³ (1 м² × 2 м высоты), охлаждавшихся с помощью фреоновых холодильных установок с испарителями, вмонтированными в потолок камеры. Выравнивание температуры воздуха в объеме каме-

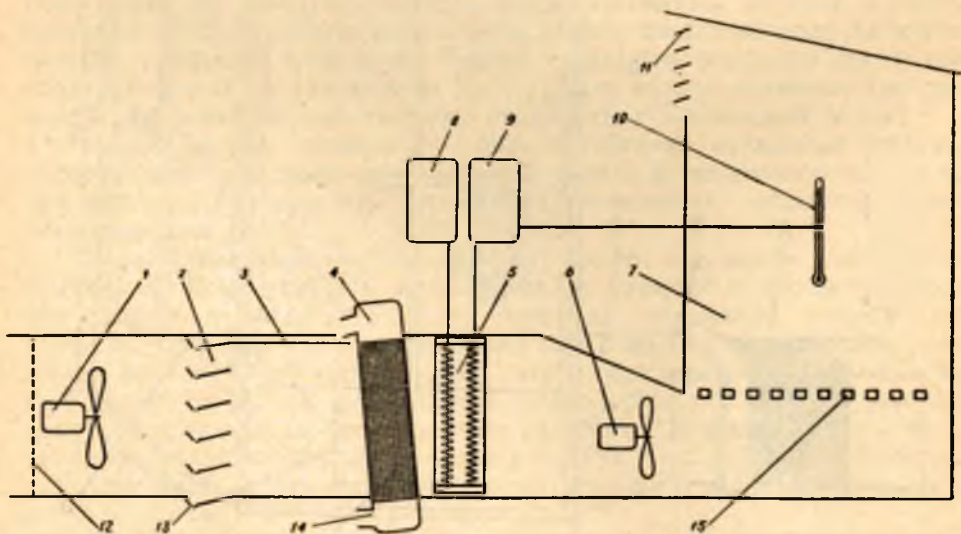


Рис 2. Схема регулирования температуры воздуха:

- 1 — вентилятор; 2 — водяной экран; 3 — желоб; 4 — радиатор; 5 — калорифер; 6 — вентилятор;
7 — камера; 8 — ручной выключатель первой секции калорифера; 9 — автоматический выключатель
второй секции калорифера; 10 — терморегулятор; 11 — жалюзи; 12 — сетка; 13 — отвод
отработанной воды; 14 — подвод холодной воды; 15 — решетчатый пол камеры

ры проводилось с помощью комнатных вентиляторов, контроль — дистанционным электротермометром с точностью $\pm 0,25^\circ$.

Глубина и продолжительность заморозка регулировалась с помощью автоматического отключения на заданной температуре холодильной установки с последующим полным отключением ее за полчаса до окончания заморозка.

Сосуды перед заморозком обертывались ватой, ставились в ящик для предотвращения охлаждения почвы снизу. Растения подвергались действию заморозков в ночное время. В течение двух часов они выдерживались при постепенно снижающейся температуре от 8° до 0° , а затем она снижалась до заданной отрицательной. Продолжительность заморозка — 3,5 ч.

По окончании заморозка она вновь повышалась и в течение часа доводилась до окружающей температуры, после чего перед восходом солнца растения перемещались в вегетационный домик и там оставались до уборки.

После заморозка у растений изучалась интенсивность некоторых физиологических процессов. В конце опыта учитывался урожай.

Изучение влияния заморозка в различные фазы развития на структуру урожая яровой пшеницы проводилось в двух опытах. Как показали исследования (табл. 1 и 2), яровая пшеница наиболее чувствительна к заморозку в период от образования тетрад и до конца молочной спелости и особенно в фазу цветения, когда даже небольшой заморозок (-1°) приводит к снижению урожая зерна на 8%. Заморозок порядка -3° в эту фазу снижает урожай зерна на 51,4—64,3%, в зависимости от предшествующей заморозку температуры. При этом в основном снижение урожая происходит за счет уменьшения озерненности главного колоса.

В фазы образования тетрад и молочной спелости заморозок порядка -3° приводит к снижению урожая зерна на 20—30%. При этом в фазу тетрад снижение урожая происходит за счет озерненности колосев, а в фазу молочной спелости — за счет сильного уменьшения абсолютного веса зерна.

Начиная с фазы восковой спелости зерна заморозки до -3° не оказывают отрицательного влияния на величину урожая зерна (табл. 2).

В начальные фазы развития растений (3—6 листьев) заморозки порядка -5° вызывают патологические изменения в их физиологических процессах вплоть до отмирания кончиков листьев. Следствием является снижение урожая зерна на 8,9—25,4%, в зависимости от фазы развития во время заморозка и предшествующей ему температуры. Снижение урожая и в этом случае происходит за счет уменьшения озерненности главного колоса.

Данные, полученные в ходе опытов, указывают на большое влияние предшествующих температур на устойчивость растений к заморозку. Так, после заморозка в фазу 3 листьев, при более высокой предшествующей температуре, урожай зерна снизился на 25,4, а при более низкой — только на 9%.

Темпы роста и развития растений, а также величина урожая являются итогом многих физиологических процессов, протекающих в растении в период вегетации. В связи с этим авторы изучили такие физиологические процессы у пшеницы, как водный режим, углеводный обмен, состав пигментов, интенсивность фотосинтеза и дыхания. Интенсивность транспирации определялась методом Иванова, связанная вода — рефрактометрически, интенсивность фотосинтеза и дыхания — по методу Иванова-Коссович. Количественное определение пигментов проводилось хроматографическим методом, углеводов — по методу Ильина.

Влияние заморозка в различные фазы развития пшеницы на урожай и его структуру
(в зависимости от предшествующих заморозку температур)

Варианты опыта	Воздушно-сухой вес одного растения и структура его урожая										
	надземная масса		зерно		овернен- ность колоса	абс. вес.	кустистость		длина колоса (см)	количество колосков в колосе (шт)	количество цветков в колосе (шт)
							общая	пролук.			
	(г)	(%)	(г)	(%)	(шт)	(г)	стебл.	стебл.			

В фазу 3-го листа

Среднесуточная температура предшествующего
заморозку периода 24,4°

Контроль	5,44	100,0	2,07	100	28,3	35,9	2,8	2,7	9,1	15	49
Заморозок — 2°	5,28	97,0	1,95	94,2	28,8	36,6	3,0	2,6	9,1	16	50
Заморозок — 5°	4,86	89,3	1,54	74,6	24,2	36,2	2,5	2,5	9,7	15,3	48

Среднесуточная температура предшествующего
заморозку периода 20,6°

Контроль	5,53	100,0	1,86	100,0	29,3	34,0	2,7	2,5	9,6	17	59
Заморозок — 2°	5,41	97,8	1,97	105,9	29,3	34,2	2,7	2,5	9,7	17	59
Заморозок — 5°	5,20	94,0	1,69	91,1	25,1	35,5	2,5	2,3	9,2	17	54

В фазу 6-ти листьев

Среднесуточная температура предшествующего
заморозку периода 18,1°

Контроль	5,48	100,0	2,08	100,0	30,9	33,2	2,7	2,5	10,0	17	56
Заморозок — 2°	5,18	94,5	1,93	92,7	30,9	35,6	2,4	2,3	10,1	18	60
Заморозок — 5°	4,84	88,3	1,71	82,2	28,1	34,6	3,0	2,8	10,2	17	56

Среднесуточная температура предшествующего
заморозку периода 12,3°

Контроль	5,39	100,0	2,07	100,0	33,1	36,1	2,3	2,2	9,8	17	56
Заморозок — 2°	5,26	97,5	1,96	94,6	32,1	33,2	2,4	2,3	10,2	18	58
Заморозок — 5°	4,88	90,5	1,64	79,2	27,6	30,9	2,7	2,6	9,8	18	57

Варианты опыта	Воздушно-сухой вес одного растения и структура его урожая										
	надземная масса		зерно		озернен- ность колоса	абс. вес	кустистость		длина колоса	количество колосков в колосе (шт)	количество цветков в колосе (шт)
							общая	продук.			
	(г)	(%)	(г)	(%)	(шт)	(г)	стебл.	стебл.	(см)		
В фазу образования тетрад											
Среднесуточная температура предшествующего заморозку периода 19,5°											
Контроль	5,53	100,0	2,18	100,0	34,9	36,0	2,3	2,3	10,2	17,8	62,5
Заморозок —1°	5,69	102,8	2,23	102,2	31,9	32,6	2,7	2,7	9,7	17,4	59,8
Заморозок —3°	5,14	92,7	1,84	84,4	31,0	33,0	2,6	2,4	10,1	17,7	60,2
Среднесуточная температура предшествующего заморозку периода 15,4°											
Контроль	6,02	100,0	2,25	100,0	32,8	34,4	2,6	2,5	10,2	17,2	62,9
Заморозок —1°	5,64	93,6	2,20	97,7	33,1	34,0	2,6	2,6	10,3	17,6	63,2
Заморозок —3°	5,23	86,8	1,77	78,6	30,3	35,5	2,7	2,4	10,2	17,8	62,1
В фазу цветения											
Среднесуточная температура предшествующего заморозку периода 20,0°											
Контроль	5,33	100,0	2,11	100,0	33,9	36,1	2,5	2,3	10,1	17,3	58,0
Заморозок —1°	5,27	98,8	1,94	91,8	27,8	38,9	2,4	2,4	9,7	18,0	55,7
Заморозок —3°	4,76	89,3	1,03	48,6	16,1	36,4	3,2	2,5	9,1	18,2	51,0
Среднесуточная температура предшествующего заморозку периода 15,3°											
Контроль	5,90	100,0	2,06	100,0	30,7	36,3	2,2	2,2	10,0	17,2	60,7
Заморозок —1°	5,86	99,3	2,00	97,0	30,2	33,7	2,53	2,5	10,2	17,7	63,6
Заморозок —3°	5,03	85,2	0,83	35,7	7,8	36,5	3,6	2,2	8,45	17,4	49,1

Таблица 2

Влияние заморозка в фазы налива зерна на урожай пшеницы

Варианты опыта		Воздушно-сухой вес одного растения							
фазы спелости зерна	глубина заморозка (°C)	надземная масса		зерно		озерненность гл. колоса(шт)	абс. вес (г)	кустистость	
		(г)	(%)	(г)	(%)			общая	продук.
								стеблей	стеблей
Контроль	—	2,87	100,0	0,835	100,0	30,2	28,0	1,2	1,0
	—1°	2,51	87,3	0,872	104,4	28,6	25,8	1,0	1,0
	—3°	2,53	88,1	0,592	70,9	30,5	18,3	1,2	1,1
Восковая	—1°	2,62	91,0	0,894	107,1	29,9	29,1	1,1	1,1
	—3°	2,72	94,6	0,854	102,3	28,4	27,7	1,3	1,3
	Молочная	—1°	2,51	87,3	0,838	100,3	29,7	28,7	1,1
и									
Восковая	—3°	2,73	95,1	0,599	71,7	29,7	18,0	1,2	1,1
Полная	—1°	2,65	92,3	0,863	103,3	28,1	29,3	1,3	1,1
	—3°	3,18	114,5	1,051	125,8	33,3	28,7	1,4	1,2

Таблица 3

Влияние заморозка на оводненность листьев в фазу выхода в трубку

Варианты опыта	% к сырой навеске			
	на 3/VII—1959 г.		4/VII—1959 г.	14/VI—1959 г.
	5 ч	10 ч	10 ч.	10 ч
Контроль	76,2	75,6	76,2	75,5
Заморозок —3° со 2 на 3 июля	73,6	74,3	73,4	71,7

Таблица 4

Влияние заморозка на содержание общей и связанной воды в листьях пшеницы в фазу выхода в трубку

Варианты опыта	% к сырой навеске		
	общей воды	свободной воды	связанной воды
	12 августа, 10 ч		
Контроль	81,6	41,1	40,5
Заморозок —3° с 11 на 12 августа	76,1	32,7	43,4

Из большого числа определений, проведенных по всем перечисленным выше показателям, приводим наиболее интересные.

Пслученные результаты показали, что заморозки порядка -1° , -3° , не вызывая видимых повреждений вегетативных органов яровой пшеницы, оказывают определенное влияние на все изучавшиеся физиологические процессы.

Наиболее существенно заморозки влияют на водный режим растений. Как видно из табл. 3, в результате действия заморозка общая оводненность листьев яровой пшеницы значительно снижается. Из табл. 4 видно, что снижение общей оводненности тканей листьев растений, подвергавшихся заморозку, происходит в основном за счет уменьшения содержания свободной воды, которое, очевидно, явилось причиной снижения интенсивности транспирации у этих растений (табл. 5).

Таблица 5

Влияние заморозка на интенсивность транспирации листьев пшеницы в фазу выхода в трубку

Варианты опыта	мг воды на 1 г абс. сухого веса листа в 1 ч			
	3/VII		4/VII	14/VII
	5 ч	10 ч	10 ч	10 ч
Контроль	3,24	6,64	3,99	4,6
Заморозок -3° со 2 на 3 июля . .	1,71	2,47	1,66	1,77

Таблица 6

Влияние заморозка -3° на углеводный обмен у пшеницы в фазу выхода в трубку

Варианты опыта		% на абс. сухой вес			
		моно-сахара	дисахара	сумма растворимых углеводов	крахмал
Листья	контроль	2,3	2,2	4,5	1,0
	заморозок	2,1	3,5	5,6	0,7
Корни	контроль	2,8	5,7	8,5	1,2
	заморозок	5,7	2,4	8,1	0,3

Таблица 7

Влияние заморозка -3° на содержание хлорофилла А и В и каротиноидов в листьях пшеницы в фазу выхода в трубку (пробы взяты через день после заморозка)

Варианты опыта	% к контролю				
	хлорофилл А	хлорофилл В	виола-сантин	лютеин	каротин
Контроль	100	100	100	100	100
Заморозок	90	73	46	47	74

Таблица 8

Влияние заморозка на интенсивность фотосинтеза и дыхания листьев пшеницы в фазу выхода в трубку

Варианты опыта	мг за 1 ч на 1 дм ²	
	интенсивность фотосинтеза	интенсивность дыхания
Контроль	36,6	2,0
Заморозок	17,3	4,5

Разница в оводненности тканей контрольных и опытных растений сохраняется в течение 20 и более дней после заморозка.

Данные табл. 6 указывают на глубокие изменения обмена веществ во всем растении, включая и его корневую систему.

После заморозка сумма углеводов в листьях повышается, в корнях — падает.

В результате воздействия заморозка происходят значительные изменения и ассимиляционного аппарата растений: резко уменьшается содержание всех форм пигментов, особенно каротиноидов (табл. 7). В ассимиляционно-дыхательном комплексе происходит заметный сдвиг в сторону увеличения интенсивности дыхания и уменьшения интенсивности фотосинтеза (табл. 8).

На основании приведенных исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. Заморозки от -3° до -5° оказывают сильное отрицательное влияние на урожай яровой пшеницы. Урожай зерна снижается в фазы 3-х листьев, трубки и молочной спелости на 30, в фазу цветения — на 51—64% (в зависимости от предшествующей заморозку температуры).

2. Существенное влияние на устойчивость пшеницы к заморозку оказывает температура предшествующего периода.

3. Заморозки вызывают глубокие изменения в ходе важнейших физиологических процессов. Под их влиянием снижается общая оводненность тканей листьев, падает содержание свободной воды, понижается интенсивность транспирации, разрушаются хлорофилл А, Б и каротиноиды, происходит перераспределение углеводов, падает интенсивность фотосинтеза, повышается интенсивность дыхания.

ЛИТЕРАТУРА

Агроклиматический справочник по Карелии. Л., Гидрометеиздат, 1959.

Берлянд М. Е., Красилов П. Н. Исследование эффективности основных методов борьбы с заморозками. «Тр. Главной геофиз. обсерватории им. Воейкова», вып. 19 (81), 1950.

Долгашев В. Осенние заморозки и растения. «Изв. Всесоюз. географ. об-ва», 1953, т. 85, вып. 2.

Копачевская М. Н. Размещение минимальной температуры в 2-метровом приземном слое воздуха весной и осенью. «Тр. Укр. науч.-исслед. гидрометеоролог. ин-та», вып. 14, 1958.

Темникова Н. С. Заморозки на чистом пару и на травостое. «Метеорология и гидрология», 1955, № 4.

Чудновский А. Ф. Заморозки. Гидрометеиздат, 1949.