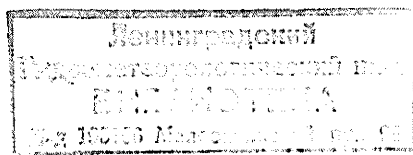


Ф. М. КУПЕРМАН, В. А. МОЙСЕЙЧИК

63

10 -

ВЫПРЕВАНИЕ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ · ЛЕНИНГРАД · 1977

Обобщены результаты многолетних экспериментальных исследований физиологических процессов, вызывающих гибель озимых культур при явлениях выпревания в зимний и ранний весенний периоды. Впервые проанализированы данные о росте и развитии растений в осенний, зимний и весенний периоды как факторах формирования зимостойкости озимой пшеницы и озимой ржи. Рассмотрены основные агрометеорологические факторы, вызывающие выпревание озимых культур, и закономерности их сезонного изменения. Описаны методы долгосрочных прогнозов выпревания озимых культур и приведены теоретические основы вероятности выпревания в разных зонах СССР. Они могут быть использованы при разработке мер защиты озимых от выпревания.

Книга предназначена для агрометеорологов, биологов, специалистов сельского хозяйства, преподавателей, аспирантов и студентов вузов и сотрудников научно-исследовательских учреждений.

The results of experimental studies carried out for a number of years in the field of physiological processes causing destruction of winter crops resulting from damping in winter and early spring periods are summarized. For the first time, data on growth and development of plants over the autumn, winter and spring periods, as the factors of winter hardness formation of winter wheat and rye, are presented. The analysis of the basic agrometeorological factors causing damping of winter crops and the regularity of their seasonal change is given. The methods of long-range forecast of winter crops' damping are described, and the theoretical backgrounds of damping probability in different zones of the USSR are described.

Theoretical studies and methods presented in the book can be used in the development of protection measures against winter crops' damping.

The book is intended for specialists in agrometeorology, biology and agriculture; for professors, post-graduates, university students and for scientific workers of research institutions.

ВВЕДЕНИЕ

Среди зерновых культур в СССР особое значение имеют посевы озимой пшеницы и озимой ржи. Они возделываются на площади около 40 млн. га, в том числе озимая пшеница занимает более 25 млн. га, озимая рожь — около 15 млн. га. Основными районами возделывания озимой пшеницы являются Украина, Северный Кавказ, центральная черноземная зона. В последние десятилетия внедрение в сельскохозяйственное производство новых сортов, обладающих комплексной устойчивостью к сильным морозам и избыточному снежному покрову, хорошими регенерационными свойствами и высокой продуктивностью, позволило значительно расширить ареал возделывания озимой пшеницы и продвинуть ее посевы во многие нечерноземные области Советского Союза. Озимая рожь распространена на большой территории от западных областей Белоруссии и Прибалтики до Забайкалья. Около 80% ее сосредоточено в нечерноземных районах центральных областей СССР; сравнительно большие площади она занимает в Зауралье и в Сибири.

В 1974 г. Центральный Комитет КПСС и Совет Министров СССР приняли постановление «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства нечерноземной зоны РСФСР», в котором отмечалась как важнейшая задача — всемерное увеличение производства зерна в этой зоне на основе значительного повышения урожайности и расширения посевных площадей зерновых культур.

XXV съезд КПСС поставил развитие сельского хозяйства в нечерноземной зоне РСФСР в число основных задач пятилетки.

Во всех земледельческих районах, где условия достаточно благоприятны для перезимовки, озимые культуры обладают многими преимуществами по сравнению с яровой пшеницей и яровой рожью:

а) при оптимальных сроках сева озимые культуры значительно лучше используют почвенную влагу осеннего и ранневесеннего периодов, так как еще с осени формируют мощную глубокую корневую систему;

б) осенью они хорошо кустятся и при своевременном сроке сева образуют 3—4 побега кущения (потенциально продуктивных);

в) ранней весной за счет зимних запасов влаги у них проходит дифференциация зачаточного колоса; при этом несколько еще пониженные температуры воздуха, задерживая его развитие на III—V этапах органогенеза, увеличивают тем самым потенциально возможное для сорта число колосков;

г) сочетание пониженных температур и хорошей влагообеспеченности весной благоприятствует синхронизации роста числа цветков в колосках и высокой озерненности колоса;

д) в летний период озимые культуры благодаря глубоко проникающей корневой системе могут использовать воду, а вместе с ней и питательные вещества из нижних слоев почвы;

е) озимая рожь, обладающая высокой сосущей силой корней, способствует созданию такого режима влажности под покровом растений, который ослабляет подзолообразовательный и усиливает дерновообразовательный процессы и тем самым, что особенно важно для условий Нечерноземья, улучшает структуру почвы.

На значительной территории СССР урожайность озимых культур в значительной степени, а во многие годы и полностью определяется условиями перезимовки. Все преимущества озимой пшеницы и озимой ржи реализуются лишь в годы с хорошей перезимовкой.

Внедрение более зимостойких сортов, повышение уровня агротехники возделывания растений в определенной степени снизило во многих районах потери урожая от неблагоприятных агрометеорологических условий. Однако проблема исследования причин повреждений и гибели озимых культур, вопросы ранней диагностики их состояния в зимний и ранневесенний периоды, сравнительная оценка сортовой устойчивости озимых растений, изучение последствий зимних повреждений и их влияние на урожайность, так же как и разработка приемов защиты озимых от неблагоприятных условий, продолжают оставаться актуальными как для физиологов и морфофизиологов растений, так и для агрометеорологов.

За последние 20 лет озимые посевы в нашей стране погибли из-за неблагоприятных условий в зимний и ранневесенний периоды в среднем на 10%, а в некоторые особо неблагоприятные годы (1955/56, 1959/60, 1962/63, 1968/69, 1971/72) более чем на 20%.

В основных районах возделывания озимой пшеницы главной причиной изреживания и гибели посевов является вымерзание. В результате понижения температуры почвы ниже «критической» на глубине залегания узла кущения, определяемой морозостойкостью сорта и состоянием растений в период действия низких температур, повреждаются надземные органы, листья, затем конус нарастания, узел кущения и корневая система. Чаще всего вымерзание происходит в периоды действия сильных морозов (порядка —25, —30°C) в первую половину зимы при отсутствии или небольшом снежном покрове, недостаточном для предохранения посевов.

Это имеет место в Поволжье, в южных и крайних восточных районах Украины, в центральных районах черноземной зоны. Во вторую половину зимы озимые культуры повреждаются, но реже, в районах с неустойчивым снежным покровом и частыми сменами оттепелей морозами.

Причины вымерзания озимых, диагностика и методы распознавания поврежденных морозами растений исследованы сравнительно полно; этим вопросам посвящено много работ. Значительно меньше исследованы и освещены в литературе вопросы повреждения и гибели озимых культур от так называемого выпревания. Между тем явление выпревания распространено очень широко и наблюдается в нечерноземной зоне почти ежегодно на той или иной площади посевов. Наиболее часто озимые посевы подвергаются выпреванию в центральных и восточных районах нечерноземной зоны Европейской территории СССР, в лесостепных и лесных районах Западной Сибири, где на полях мощный снежный покров устанавливается рано, задолго до глубокого промерзания почвы, и залегает длительное время.

На этой территории на площади озимых посевов, занимающих около 15 млн. га (более 30% всех посевов), основной культурой является озимая рожь — здесь засеивается около 80% всей площади озимой ржи в СССР. В последние годы в западных и центральных областях нечерноземной зоны за счет яровых культур и частично вместо озимой ржи значительно увеличились площади под посевами озимой пшеницы. В отличие от вымерзания, когда губительное действие может оказать даже кратковременное снижение температуры на глубине узла кущения ниже «критической», при выпревании гибель озимых определяется продолжительным действием сложного комплекса неблагоприятных условий. Среди них ведущим является длительное пребывание растений в темноте при температурах, близких к 0°C. Чаще всего условия такого рода складываются при раннем установлении избыточного снежного покрова на талой или недостаточно промерзшей почве и при позднем сходе снега с полей весной.

Выпревание, в отличие от вымерзания, часто носит локальный характер (преимущественно на полях ранних сроков сева и в понижениях рельефа), однако более глубокий анализ этого явления свидетельствует о том, что под влиянием выпревания урожайность озимых на большой территории резко снижается. В то время как при действии низких «критических» температур на полях погибают обычно все или большинство растений, при выпревании значительный процент растений может сохраниться, однако у них повреждаются и гибнут главные, наиболее продуктивные побеги. При этом число отмирающих побегов достигает нередко 50% и более. Такие посевы формируют урожай за счет побегов второго, третьего и последующих порядков, запаздывают

с развитием и в результате урожайность от выпревания снижается на 50—70%.

Несмотря на столь значительный для земледелия урон, выпревание до последнего времени исследовалось значительно меньше, чем вымерзание. Произошло это, возможно, потому, что от вымерзания озимые посевы погибали на сотнях тысяч гектаров, от выпревания же они значительно реже погибали на столь больших площадях. К тому же выпревание распространено главным образом в нечерноземной зоне, которая еще до недавнего времени не играла значительной роли в хлебном балансе страны. Теперь же, когда подъему сельского хозяйства Нечерноземья придается большое значение, изучение причин снижения урожайности озимых культур в этой зоне стало особенно актуальным.

Анализом причин повреждений и гибели озимых культур при выпревании занимались, особенно в последние годы, не только агрометеорологи, но и физиологи растений [1, 4, 6, 7, 10, 12, 18, 19, 20, 22, 35, 44].

Впервые использованные в исследованиях о выпревании методы морфофизиологического анализа позволили вскрыть новые, ранее неизвестные процессы, протекающие в конусах нарастания при длительном действии зимой аномальных температур в условиях темноты под избыточным снежным покровом. Одновременно было выяснено, что и при отсутствии снежного покрова при длительном пребывании озимых растений при температурах, близких к 0°C, может иметь место истощение растений, недифференцированный рост конусов нарастания и в результате — гибель побегов, а нередко и целых растений, которые легко поражаются разными корневыми гнилями и другими фитозаболеваниями.

В течение почти 100 лет многие исследователи занимались изучением причин гибели озимых культур в зимний период под мощным снежным покровом. Анализ, монографическое описание и библиография этих работ, несомненно, представили бы большой интерес для широких кругов читателей — физиологов, растениеводов, агрометеорологов. Однако необходимость освещения современного состояния проблемы выпревания озимых культур в связи с задачами разработки системы мероприятий по повышению урожайности в нечерноземной зоне СССР заставила авторов ограничить объем разделов, посвященных истории вопроса, а также библиографический указатель работ по зимостойкости. При этом авторы учитывали, что во многих приводимых ими фундаментальных монографиях по зимостойкости растений отражены сравнительно полные библиографические данные, в том числе и работы по выпреванию озимых.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам лаборатории биологии развития растений Московского государственного университета и Гидрометцентра СССР М. С. Быковой,

А. С. Ярошевской, принимавшим непосредственное участие в проведении анализов и микрофотографировании конусов нарастания озимых растений, Т. А. Максименковой, К. Д. Уланович, Е. Г. Шептовицкой и Л. В. Ананьевой за помощь в подготовке книги к печати.

Авторы выражают искреннюю благодарность за большую и кропотливую работу по рецензированию рукописи и за те ценные замечания, какие были сделаны Председателем Совета по научно-методическому руководству селекцентрами при Президиуме ВАСХНИЛ академиком А. В. Пухальским и заместителем начальника Главного управления зерновых культур и по общим вопросам земледелия Министерства сельского хозяйства СССР кандидатом сельскохозяйственных наук Ю. П. Буряковым.

Авторы будут признательны читателям за все замечания, советы и пожелания.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ВЫПРЕВАНИЕ ОЗИМЫХ РАСТЕНИЙ

Выпревание растений озимых культур представляет собой весьма сложный процесс. Оно наблюдается при длительном пребывании растений при температуре, близкой к 0°C ($0, \pm 3^{\circ}\text{C}$), и неглубоком промерзании почвы без света под мощным снежным покровом. В таких условиях растения усиленно расходуют запасы питательных веществ в листьях и узлах кущения, истощаются. При недостатке кислорода и избытке углекислоты в тканях растений имеет место деструкция клеток, недифференцированный, аномальный рост конусов нарастания, распад пигментов и ряд других явлений, приводящих к повреждению и гибели как отдельных побегов, так и целых растений. Такие ослабленные зимой растения после схода снега и возврата низких отрицательных температур весной повреждаются при менее сильных морозах, чем осенью и зимой. Они легко подвергаются поражению грибными заболеваниями, среди которых наиболее распространенными при выпревании являются различные формы снежной плесени и склеротиния.

Выпревание отмечается главным образом в нечерноземной зоне РСФСР — на тяжелых почвах с плохой водопроницаемостью. Однако в ряде лет оно охватывает большие территории, включая западные районы СССР.

Значительное изреживание озимых посевов под избыточным снежным покровом наблюдал еще в 1905 г. В. В. Винер на Шатиловской опытной станции [35]. По его данным, изреживание было тем сильнее, чем глубже был снежный покров.

Зимой 1927/28 г., когда имело место массовое вымерзание озимых в южных районах, в Московской и Ивановской областях, в БССР и ряде северных районов ЕТС озимые посевы были сильно повреждены из-за выпревания. В эту зиму снег выпал на почву, у которой замерз только ее поверхностный слой, а затем под слоем снега 40—50 см почва полностью оттаяла. Снег лежал в эту зиму более 5,5 месяца.

Значительная гибель под избыточным снежным покровом отмечается и в горных условиях [46].

Большинство исследователей считали, что гибель озимых под глубоким снегом происходит либо из-за недостатка кислорода, либо из-за удушения углекислым газом, выделяемым растениями.

В 1930/31 г. И. И. Тумановым, а в зимы 1931/32 и 1932/33 гг. им совместно с И. Н. Бородиной и Т. В. Олейниковой [34] в Пушкине (Детском Селе) была проведена большая серия опытов. На основании некоторых данных о содержании кислорода в плотно-фирновом снеге Тумановым были высказаны сомнения о возможности гибели растений из-за недостатка кислорода под снегом.

И. И. Туманов следующим образом формулировал задачи постановки своих опытов: «Прежде всего проверка общепринятого мнения о гибели озимых посевов под глубоким снеговым покровом от удушения. Помимо этого, выяснялись условия выпревания, устанавливались причины гибели и физиологические основы устойчивости озимых к снеговому покрову и разрабатывались методы оценки устойчивости озимых к выпреванию. Наряду с газовыми анализами производился периодический учет размера повреждений и гибели озимых посевов под снегом, определялись изменения в морозостойкости озимых и содержании углеводов» [34].

Таким образом, И. И. Тумановым была намечена и осуществлена большая программа специальных опытов по изучению выпревания растений. Полученные результаты проверялись в разных условиях, дополнялись многими физиологами и агрометеорологами, и хотя к настоящему времени уже накопился сравнительно большой новый материал, классические эксперименты И. И. Туманова и сейчас представляют большой интерес.

Не останавливаясь на методике газовых анализов воздуха, принятой И. И. Тумановым, отметим, что при содержании кислорода в наружном воздухе над снегом около 19,2% под снежным покровом высотой 50 см через три месяца после его установления содержание кислорода у поверхности почвы колебалось между 20,8 и 22%, а содержание CO_2 не превышало 1,85%. При более точных анализах получено O_2 21,6%, CO_2 0,91%.

Зимой 1931/32 г. опыты проводились под постоянным в течение зимы 100-сантиметровым снежным покровом. Содержание O_2 постепенно уменьшалось, однако за 4 месяца оно снизилось лишь на 1,5% и было не ниже 20—20,5%. Температура под 100-сантиметровым снежным покровом в течение 4 месяцев колебалась от 0 до $\pm 2^\circ\text{C}$, растения интенсивно дышали и потребляли кислород. Незначительное изменение в содержании O_2 свидетельствовало о том, что даже через метровый слой снега газообмен обеспечивал жизнедеятельность озимых растений.

Таким образом, газовые анализы показали наличие достаточного количества кислорода, однако озимые растения в этих условиях погибали. Следовательно, точными опытами было доказано, что гибель озимых при температуре, близкой к 0°C , происходит не

от удушения, как предполагалось раньше, до опытов И. И. Туманова.

Для выяснения, в какой мере 50-сантиметровый слой снега утепляет озимые посевы, в течение трех лет измерялась минимальная температура воздуха под снегом (рис. 1). Как видно из рис. 1, в 1931/32 г. температура воздуха под слоем снега 50 см не опускалась ниже $-4,5^{\circ}\text{C}$, в то время как температура под слоем снега 10 см при сильных морозах снижалась до -10 , -16°C , хотя и была выше

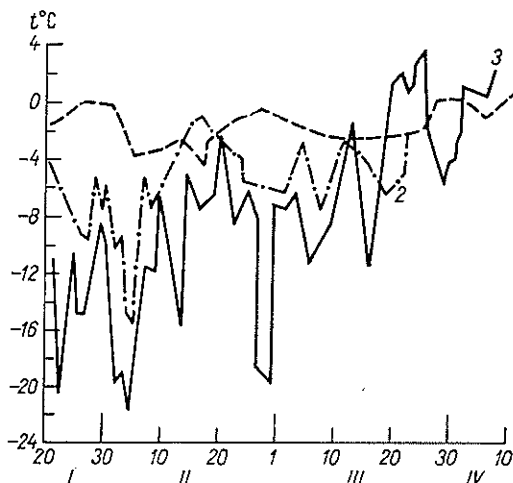


Рис. 1. Ход температуры под слоем снега 50 см (1) и 10 см (2) и температура воздуха в момент наблюдений (3) [34].

температуры воздуха. Минимальная температура воздуха зимой 1932/33 г. опускалась до -20 , -21°C , однако под слоем снега 10—15 см не опускалась ниже -8 , -10°C , а под слоем снега 50 см не была ниже -4°C . Увеличение слоя снега от 50 до 100 см сравнительно мало отражалось на температурном режиме растений, находившихся под снегом. Под таким слоем снега он определяется больше промерзанием почвы еще до установления снежного покрова.

Очень часто при выпадении снега на талую почву растения длитель-

ное время находятся в темноте в незамерзшем состоянии при 0°C . По наблюдениям Н. Н. Калитина, приведенным Н. Н. Яковлевым [44], на глубину 10 см в сухом снеге проходит 20%, а на глубину 50 см — около 1% радиации, поступающей на поверхность снега.

К. М. Пыйклик [27] в связи с исследованиями явлений выпревания также изучал пропускание снегом суммарной радиации на разные глубины. Он установил, что если на глубину 3 см снег пропускает от 10 до 15,8% падающей на поверхность суммарной радиации, то уже на глубину 8 см проходит вдвое меньше, а на глубину 15 см — не более 2,3—3,4% (табл. 1). По данным П. П. Кузьмина, как отмечает Н. Н. Яковлев [44], уже в первом 5-сантиметровом слое снега поглощается в зависимости от его плотности и прозрачности от 34 до 88% всей радиации, проникающей внутрь снежного покрова.

Таблица 1

Суммарная радиация на разных глубинах под снежным покровом

Глубина от поверхности снега	Суммарная радиация					
	25 I		19 II		18 III	
	кал/(см ² · мин)	%	кал/(см ² · мин)	%	кал/(см ² · мин)	%
На поверхности снега	13,0	100	38,6	100	51,5	100
На глубине						
3 см	1,4	10,8	6,1	15,8	6,5	12,6
15 см	0,3	2,3	1,3	3,4	1,5	2,9

Осеннее переувлажнение верхних слоев почвы в ряде районов СССР также влияет на перезимовку озимых посевов под глубоким снежным покровом — вероятность повреждений возрастает. Так, К. М. Пыйклик [27] отмечает, что в условиях Эстонской ССР для диагностики выпревания озимых растений необходимо учитывать состояние осенней увлажненности почвы.

Н. Н. Яковлев [44] в 1937/38 г. начиная с 25 ноября создавал избыточный снежный покров высотой 60—70 см; до этого мощность снега поддерживалась 20—25 см. В этих условиях гибель озимой пшеницы Московская 2411, определяемая в различные сроки с 25 ноября по 25 марта на делянках с разной степенью увлажнения, в феврале при избыточном увлажнении была вдвое выше по сравнению с нормальной увлажненностью. Чем дольше лежал избыточный снежный покров, тем больше гибли растения. При продолжительном пребывании растений под глубоким снегом (до 150 дней) гибель на избыточно увлажненной почве достигала 57%, а на естественно увлажненной 24%, причем во всех случаях ко времени выпадения снега почва была промерзшей (до 34—38 см).

Следовательно, под слоем снега 50—100 см при температуре, опускавшейся не ниже —5°C, вымерзание посевов, так же как удушье из-за недостатка воздуха, в эксперименте Н. Н. Яковлева [44] было исключено.

Для выяснения причин гибели озимых при выпревании необходимо было обратиться к изучению физиологических процессов, проходящих в озимых растениях. Нужно было исследовать динамику сахаров в первую и вторую половины зимы, выяснить энергию дыхания растений под снежным покровом, учесть значение возраста, стадий развития, кустистости, глубины залегания узлов кущения и ряда других показателей физиологического состояния растений в осенний, зимний и весенний периоды. Необходимо было

выяснить состояние покоя при температурах, близких к 0°C, а также исследовать рост листьев под снегом, что неоднократно отмечалось многими авторами, особенно рост и дифференциацию конуса нарастания.

После того как было установлено, что гибель озимых под избыточным снежным покровом не является результатом удушения растений от недостатка кислорода и явления выпревания имеют место при достаточно хорошем газообмене под снегом, И. И. Тумановым [34, 35] были начаты исследования устойчивости растений к выпреванию в зависимости от их состояния перед уходом в зиму, а также тех процессов, какие происходят в озимых растениях в зимний период. При этом основное внимание обращалось на динамику содержания углеводов в течение осеннего, зимнего и ранневесеннего периодов. Исследовались растения разных сроков сева, разного возраста, хорошо закаленные и не прошедшие закалки до ухода в зиму, в условиях разного снежного покрова.

В результате трехлетних опытов было установлено, что интенсивность траты сахаров под глубоким снежным покровом более значительна при температуре, близкой к 0°C, чем при температурах —5, —8°C и ниже. При этом выяснилось, что хорошо закаленные растения значительно «экономнее» тратили сахара под глубоким снежным покровом по сравнению с незакаленными. Содержание сахаров в этих условиях у закаленных растений снижалось в узлах кущения с 25 до 7,5%, а в листьях с 16,7 до 5%, у незакаленных растений до 2—2,5%. При этом у закаленных растений, накапливающих с осени больше сахаров, «критический минимум» содержания сахаров (порядка 2—5%) наступает позже, чем у незакаленных. Уходя в зиму с меньшим запасом сахаров, слабо закаленные растения начинают голодать под глубоким снегом значительно раньше, чем хорошо закаленные.

В специальном опыте сравнивались растения, хорошо закаленные в естественных условиях, и растения, предварительно выдерживавшиеся в течение 10—12 дней в теплой оранжерее, где закалка их значительно снижалась. Незакаленные растения почти все погибли (сохранилось лишь 6—14% растений), тогда как хорошо закаленных в этих же условиях осталось к весне 41—52%.

В разные годы число выживших закаленных растений несколько колебалось, но во все годы были заметны значительные различия в устойчивости к выпреванию между закаленными и незакаленными растениями.

Трехлетние опыты подтвердили, что очень большое влияние на выпревание оказывает продолжительность пребывания растений под снегом. Чем длительнее период залегания глубокого снежного покрова и чем позже озимые растения освобождаются из-под снега, тем больше они расходуют сахаров, тем сильнее они истощаются и изреживаются.

Систематический анализ образцов растений, находившихся под постоянным снежным покровом 50 и 90 см, показал, что в течение примерно двух месяцев озимая рожь не отмирала, но на третьем месяце гибель ускорялась. У незакаленных растений озимой пшеницы отмирание шло в течение всей зимы и наблюдалась типичная картина выпревания.

Таким образом, уже ранние опыты Туманова подтвердили наблюдения агрометеорологов и агрономов, что выпревание бывает только при длительном пребывании растений под глубоким снежным покровом.

Экспериментальные исследования связей между динамикой сахаров и выпреванием озимых под глубоким снежным покровом проводились многими авторами. К. М. Пыйклик [27], например, сообщает о своих экспериментах в связи с расходами сахаров растениями зимой. Его данные приведены в табл. 2. Из этих данных видно, что существует связь между расходами сахаров и температурой почвы на глубине узла кущения растений. Самый быстрый расход сахаров происходил в зимы 1955/56 и 1958/59 гг., когда температура на глубине узла кущения была почти постоянно наивысшая. Гораздо меньше расходовалось сахаров в 1956/57 и 1957/58 гг. и меньше всего зимой 1959/60 г., когда температура была самая низкая.

Таблица 2
Расход сахаров в зимний период у озимой ржи

Годы	Интервалы преобладающих температур на глубине узла кущения (°C)	Средний суточный расход сахаров зимой (мг на 1 г сухого вещества) ¹	
		в листьях	в узлах кущения
1955/56	0, —1	1,65	2,16
1956/57	—0,5, —2	1,10	1,53
1957/58	0, —3	1,01	1,60
1958/59	0, —1	1,66	2,58
1959/60	—2, —5	0,90	0,98

¹ С начала перезимовки до периода интенсивного снеготаяния весной.

Учитывая, что не везде и не каждый год можно создать снежный покров необходимой высоты, И. И. Туманов в 1935 г. [34] предложил при оценке на устойчивость к выпреванию разных сортов озимых культур проводить опыты в темных термостатных комнатах и засыпать ящики с растениями вместо снега слоем мокрых опилок. При этом температуру, близкую к 0°C, легко сохранять

длительно на уровне растений, при необходимости ее можно регулировать, а мокрые опилки позволяют сохранять близкую к насыщению влажность воздуха, как это имеет место в естественных условиях, под глубоким снежным покровом. Результаты, полученные в опытах с мокрыми опилками, соответствовали результатам полевых опытов под снегом.

На расход сахаров большое влияние имеет состояние почвы зимой — талая она или мерзлая. Талое состояние почвы показывает, что под снегом температура все время была 0°C или немного выше. Расход запасных веществ в растениях особенно велик под высоким снежным покровом при талой почве.

Зимой 1955/56 г. на экспериментальной базе в Куузику на одной делянке озимой ржи было искусственно создано (путем регулирования снежного покрова) талое состояние почвы, на другой — мерзлое. Разница в температуре почвы на делянках была незначительная, в среднем 0,5—1°C. Разница в расходе сахаров растениями, зимующими в талой и мерзлой почве, как в листьях, так и в узлах кушения доходила до 40%. В талой почве погибло значительно больше растений.

Кроме того, в течение трех зим (с 1959 по 1962 г.) в Куузику проводились и иные опыты. Чтобы не допустить замерзания почвы на поле озимой ржи, одна делянка в начале перезимовки покрывалась слоем опилок толщиной 20 см. Зимой 1959/60 г. вследствие исключительно сильного мороза в декабре почва даже под опилками легко промерзала (3—4 см), но во второй половине зимы оттаивала. В конце снеготаяния (20 апреля) под опилками уже 1/4 растений погибала, а у остальных растений в листьях было 2—5% сахаров, в узлах кушения 7—9%.

В 1960/61 г. у озимой ржи под опилками уже к 16 января запас сахаров снизился до 7% в листьях и до 12% в узлах кушения. В конце февраля под опилками началось значительное выпадение растений. В начале марта у живых растений в листьях было 3—4% сахаров, в узлах кушения 7—9%. К середине апреля все растения погибли.

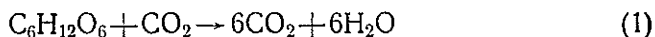
Таким образом, в талой почве, т. е. при температуре 0°C и выше, расход сахаров происходит в 2—4 раза быстрее, чем в мерзлой, и озимые после пребывания в талой почве в течение 2—3 месяцев начинают погибать — вначале медленно, а во второй половине марта и в первой половине апреля уже в массовом количестве.

Одной из главных причин интенсивной траты сахаров под глубоким снежным покровом является усиленный расход сахаров на дыхание. В. А. Моисейчик [22], используя данные Н. В. Савинского, полученные на агрометстанции Собакино, установила, что расход сахаров у озимой ржи при понижении температуры на глубине узла кушения от 6,0 до 1,5°C увеличивался в 1,6 раза при исход-

ных запасах сахаров 10—18%. У растений с запасами сахаров 26—28% в середине зимы такое же увеличение расхода сахаров наблюдалось при значительно меньшем повышении температуры на глубине узла кущения (от 7 до 5°C).

В. А. Мойсейчик [22], как позднее и другие исследователи, установила, что большой запас сахаров у озимых с более развитым травостоем расходуется на дыхание быстрее (впоследствии выяснилось, что и на ростовые процессы). Это является одной из причин большей изреженности при выпревании переросших посевов. И. И. Туманов считает, что слабозакаленные растения при тех же температурах расходуют сахара значительно быстрее (в 2—3 раза).

И. М. Петунин [23] по формуле дыхания



и атомным весам элементов, входящих в эту формулу, определил величину отношения выделенной углекислоты к израсходованному сахару (глюкозе). Разделив вес молекулы глюкозы на вес выделенной при дыхании углекислоты, он установил, что сахара по весу при дыхании расходуется 0,682 веса выделенной углекислоты. Учитывая зависимость количества выделяющейся в процессе дыхания углекислоты от температуры, он рассчитал величину расхода сахаров растением при дыхании за сутки (в мг) на 1 г сухого вещества (табл. 3).

Таблица 3

Расход сахаров хорошо развитыми и закаленными растениями озимых культур на дыхание под снежным покровом за одни сутки в зависимости от температуры

Температура, °C	7	6	5	4	3	2	1	0	—1
Расход сахаров, мг	9,86	9,07	8,30	7,56	6,91	6,31	5,74	5,23	4,73
Температура, °C	—2	—3	—4	—5	—6	—7	—8	—9	—10
Расход сахаров, мг	4,27	3,84	3,43	3,05	2,66	2,30	1,97	1,66	1,37

Гибель растений наступает не сразу по израсходованию запасов сахаров, а значительно позднее, так как растения способны в некоторой степени пополнять их за счет превращения небольшого запаса крахмала в сахара. Но при этом происходит голодание растений (расход белков и распад тканей клеток растений) и наступает вторая фаза выпревания озимых. Растения начинают расходовать белки, когда у них остается всего 2—4% сахаров. Это происходит обычно в конце зимы и в период снеготаяния. Расход белков опасен для жизни растений еще и потому, что выделяющееся при этом тепло создает благоприятные условия для развития микроорганизмов и роста мицелия различных грибов. Последние, быстро и мощно разрастаясь на голодающих растениях, резко ускоряют расход белков, что приводит к гибели сначала

листьев, касающихся почвы, затем основания побегов, а в дальнейшем и узлов кушения озимых. Чем продолжительнее период голодания, тем больше растения повреждаются от выпревания. Результаты анализа материалов многолетних наблюдений позволили В. А. Моисейчик прийти к выводу, что все или большинство растений гибнут при продолжительности периода голодания не менее 30—40 дней и длительном снеготаянии [22].

Однако, как было выяснено И. И. Тумановым еще в 1935 г., истощение растений не вызывает их прямой гибели. Так, в специальных опытах в одних вариантах у озимых растений перед уходом под снег были срезаны и удалены с делянки листья — зимовали лишь одни узлы кушения и корневая система. В этом варианте сохранились живыми и дали отрастание 85% растений. Во втором варианте, где надземные части срезались в этот же срок, но не удалялись, а оставались лежать на делянке, сохранилось всего 33% растений. Истощение озимых растений было одинаковым, но там, где листья срезаны не были, а также там, где срезанные листья оставались на делянке, развивалась снежная плесень. На делянках, где листья удалялись, снежной плесени не было.

Вероятно, не случайно земледельцы в случаях обильного разрастания озимых с осени применяли стравливание животными озимых посевов перед уходом в зиму. И хотя пастьба животных на посевах также наносила вред растениям, однако он был, по-видимому, меньше, чем ущерб от выпревания.

Интересны опыты с подрезанием растений осенью в условиях трех фонов — естественного снежного покрова, избыточного снежного покрова и бесснежья [44]. Подрезка растений проводилась в конце сентября на высоте 10 см с удалением срезанной массы. На фоне естественного снежного покрова существенных различий в перезимовке не отмечалось; при бесснежье узлы кушения, не прикрытые листьями, страдали больше, а в условиях избыточного снежного покрова удаление срезанной массы — питательной среды для развития грибов — приводило к уменьшению гибели от выпревания (табл. 4).

Таблица 4

Гибель растений, подрезанных и не подрезанных осенью (%)

Место наблюдений и год опыта	Снежный покров				Бесснежье	
	естественный		избыточный			
	растения					
	подрезан- ные	неподрезан- ные	подрезан- ные	неподрезан- ные	подрезан- ные	неподрезан- ные
Кострома, 1938	18,1	17,8	24,5	42,6	66,4	40,8
Овчино, 1940	24,3	24,8	30,0	36,4	72,2	64,6
Пушкин, 1959	32,8	26,9	22,5	27,8	55,5	30,9

Массовое появление снежной плесени на посевах обычно приурочено к концу зимы, когда растения уже ослаблены и истощены и когда под влиянием голодания у них идет усиленный распад белков, увеличивается количество азотистых соединений, необходимых для развития снежной плесени. При этом чем меньше масса листьев, тем меньше развиваются грибы, что видно из опытов с подрезанными растениями.

Таким образом, установлено, что голодание создает предпосылки, а снежная плесень в этих условиях завершает гибель растений. При условиях, благоприятных для развития мицелия грибов (температура под снегом около 0°C и выше, влажность воздуха около 90%), гибель растений наступает в течение нескольких дней.

Полученные И. И. Тумановым [34] экспериментальные данные позволили ему выделить в зависимости от господствующих в ходе выпревания растений физиологических процессов три качественно различные фазы: первая — углеводное истощение, вторая — голодание и распад органических веществ и третья — гибель растений при развитии грибных заболеваний.

Для первой фазы выпревания, как это уже подтверждено и другими исследователями, характерно углеводное истощение растений. При температуре под снегом, близкой к 0°C , у озимых растений сохраняется заметная энергия дыхания, продолжается хотя и слабый, но почти непрерывный процесс роста конусов нарастания и корневой системы. Ежедневные, даже слабые (особенно при небольших положительных температурах), расходы сахаров на дыхание и рост в течение продолжительного периода пребывания под снежным покровом суммируются и приводят в конце концов к почти полному истощению растений.

Процесс истощения растений продолжается два-три месяца. При этом расход сахаров особенно увеличивается с начала марта, за исключением тех лет, когда температура в марте сильно понижается и почва промерзает глубже.

Резко возрастает расход сахаров у озимых, что неоднократно наблюдал К. М. Пыйклик [27] в период интенсивного снеготаяния, особенно в конце этого периода (до 5 мг и больше на 1 г сухого вещества). Гибель растений в этот период за 5—6 дней до схода снега резко усиливается, что часто имеет решающее значение для исхода перезимовки растений. Так, К. М. Пыйклик в 1951 г. сравнил результаты анализа образцов озимой ржи оптимального срока сева, взятых 12 и 20 марта во время интенсивного таяния снега на поле. В течение этих 8 дней количество сахаров в узлах кущения снизилось с 20,1 до 13,2%, в листьях с 12,8 до 6,5%, что составило примерно 8—9 мг в сутки. В последующие дни содержание сахаров упало до 3—4%.

Работами других авторов также было подтверждено, что наиболее активный расход сахаров идет в условиях тающего снега, где температура устойчиво держится около 0°C, а высокая влажность способствует быстрому гидролизу сахаров в поврежденных тканях растений. Большое значение для выживания озимых растений под глубоким снежным покровом имеет количество сахаров в листьях и особенно в узлах кушения перед уходом в зиму.

Уже первые опыты И. И. Туманова [34, 35] показали, что закаленные растения, накапливающие с осени более высокий процент сахаров, дольше сохраняются, у них позже наступает вторая фаза — голодание. В этой связи следует остановиться на факторах, определяющих степень осеннего закаливания растений в условиях нечерноземной зоны.

Как известно, согласно теории закаливания, разработанной физиологами, значительное повышение содержания сахаров в листьях и особенно в узлах кушения является результатом того, что осенью в солнечные дни у растений пшеницы сравнительно интенсивно идут процессы фотосинтеза, а в вечерние, ночные и утренние часы при понижении температуры процессы дыхания и роста у них замедляются, что ведет к накоплению сахаров. Чем длительнее переход от высоких температур осени к пониженным температурам зимы и чем эти температуры оптимальнее для закаливания, тем интенсивнее идет процесс накопления сахаров в узлах кушения.

В табл. 5 приведены данные опыта, во время которого после 14-дневного пребывания при температуре 5°C растения выдерживались от 2 до 5 дней при температурах —2, —5 и —7°C. Из этих данных видно, что максимум моносахаров накапливался в варианте 14 дней при 5°C +2 дня при —2°C, а наибольшее количество дисахаров накапливалось в варианте 14 дней при 5°C +2 дня при —7°C.

Таблица 5
Накопление сахаров у различных сортов озимой пшеницы
(% от сухого вещества)

Сорт	14 дней при 5° С							
	контроль		+2 дня при —2°С		+5 дней при —5°С		+2 дня при —7°С	
	моно-сахара	ди-сахара	моно-сахара	ди-сахара	моно-сахара	ди-сахара	моно-сахара	ди-сахара
Минхарди	22,4	28,3	25,8	26,9	19,8	38,2	17,7	38,9
Янетска	22,9	13,0	20,3	16,0	15,7	25,7	13,6	28,2
Римпау	22,5	4,1	22,1	13,5	12,7	22,0	15,2	24,7
Штубе Диккопф	12,1	3,4	20,7	4,7	11,6	18,4	17,4	15,5

Одним из существенных факторов, обеспечивающих хорошее закаливание растений и накопление сахаров, является оптимальный срок сева, соответствующий наилучшим агрометеорологическим условиям роста растений и сортовым особенностям озимых культур [2, 7, 13, 16, 22, 27, 25, 29].

К. М. Пыйклик [27] отмечает, что озимые, посеянные в оптимальный срок, накапливают в узлах кушения в среднем на 10—15%, а в некоторые годы даже на 20—30% больше, чем растения поздних сроков сева.

Период осеннего закаливания озимых растений и накопление сахаров обычно наблюдается, когда средняя суточная температура воздуха устойчиво понижается до 8—5°C при большой суточной амплитуде температуры [22].

Наблюдения за динамикой накопления сахаров в 1932/33 г. на Харьковской опытной станции над такими сортами озимой пшеницы, как Дюрабль, Ферругинеум 1239, Гостинанум 237, Украинка, показали, что больше всего сахаров в узлах кушения; до 30—45% их накапливалось в условиях, когда температура в 13—16 ч достигала 15—20°C, а ночью опускалась до 2—3°C [7]. Сходные данные приводятся и по Эстонской ССР. Так, осенью 1961 г. в течение третьей декады сентября и первой пентады октября преобладала сухая солнечная погода, средняя суточная температура воздуха была 8—9°C, максимальная 13—17°C, минимальная —1, +3°C. К концу этого периода у озимых растений накопилось около 30% сахаров.

Если средняя суточная температура поднимается выше 9—10°C или имеет место значительная облачность, накопление сахаров замедляется, а в ряде случаев количество уже накопленных сахаров, особенно в листьях, значительно падает. При сравнительно низких температурах (средние суточные 3—4°C) накопление сахаров также замедляется, хотя этот процесс продолжается вплоть до наступления средних суточных отрицательных температур. К. М. Пыйклик [27] приводит в своей работе характеристику условий закаливания озимой ржи и ход накопления сахаров за ряд лет (табл. 6, 7).

При анализе дней, благоприятных или неблагоприятных для закаливания, имеет значение их ход и распределение в течение осени. Если ясные солнечные дни превалируют над пасмурными на протяжении всей осени, то процесс закаливания идет почти непрерывно до конца вегетации. Если после дней, благоприятных для закаливания, наступают пасмурные дни и температура повышается, то нередко накопленные запасные вещества используются растениями на рост органов и содержание сахаров падает.

Установлено, что около 90% сахаров в узлах кушения закаленных растений локализовано за труднопроницаемыми барьерами. Это свойство закаленных растений прочно удерживать в неповрежденных клетках сахара, возможно, и является одной из причин

Таблица 6

Связь между условиями закаливания озимой ржи «Сангасте» оптимального срока сева и количеством сахаров в конце периода закаливания

Год	Сумма эффективных температур от посева до прекращения вегетации (°C)	Условия закаливания				Количество сахаров (%)	
		число дней ¹		в пересчете на хорошие	оценка конца периода ³	в листьях	в узлах кущения
		хороших ²	средних				
1955	312	4	8	8	3	26	35
1956	146	4	6	7	3	22	32
1957	192	5	8	9	3	21	31
1958	252	7	11	13	4	29	45
1959	152	5	6	8	3	17	25
1960	199	0	2	1	2	12	20

¹ При пересчете «хороший» день принят за единицу, а «средний» за 1/2.

² Хороший день — ясная солнечная малооблачная погода, средний — малооблачная или с переменной облачностью.

³ Оценка дана по пятибалльной системе: 1 — очень плохие условия закаливания, 5 — отличные условия.

Таблица 7

Связь между условиями закаливания озимой ржи «Сангасте» оптимального срока сева и количеством сахаров в узлах кущения

Число хороших дней для закаливания	Оценка условий закаливания	Количество сахаров в узлах кущения (%)
>12	Хорошие	>35
8—12	Средние	25—35
<8	Плохие	<25

меньшей траты сахаров в условиях температуры, близкой к 0°C, которая сама не вызывает повреждения клеток, особенно в первую половину зимы.

Динамика углеводов может свидетельствовать о степени подготовленности растений к перезимовке. Однако только после установления отрицательных температур можно определить содержание сахаров, с которыми озимые уходят в зиму. При наступлении низких температур до выпадения снега в холодные зимы (особенно в первую половину зимы) содержание сахарозы продолжает нарастать, и чем более зимостоек сорт, тем оно выше. В теплые зимы возрастает доля простых форм сахаров, прежде всего фруктозы [31].

Разработкой методов диагноза состояния озимой пшеницы по содержанию углеводов занимались многие авторы. Так, Н. И. Гойса, Р. В. Гаценко, И. И. Ковтун в 1975 г. опубликовали результаты комплексных исследований за 1967—1971 гг. Ими испытывались сорта Мироновской селекции — Мироновская 808, Мироновская юбилейная, Лютеценс 2488, 2917, 2877, а также Безостая 1 и Одесская 16.

Было установлено, что максимальное количество накопленных в осенний период сумм сахаров в узлах кушения озимой пшеницы мало меняется от сорта к сорту и составляет 38—44% веса сухого вещества. Связь между количеством перезимовавших растений и суммой сахаров отсутствовала ($r=0,06$). Таким образом, максимальное содержание сахаров в узлах кушения в ранний осенний период не служит показателем уровня морозостойкости растений.

Тесная связь обнаружена авторами между количеством перезимовавших растений и суммой сахаров, оставшихся в узлах кушения в конце зимовки ($r=0,74$). Уменьшение содержания сахаров сопровождается заметным падением числа перезимовавших растений. Отсюда понятной становится связь минимального содержания сахаров в узлах кушения с урожаем зерна озимой пшеницы ($r=0,65$).

Авторы считают, что величина минимального содержания сахаров в узлах кушения ранней весной может быть рекомендована в качестве биологического показателя для диагноза состояния посева после перезимовки и может быть использована в качестве прогностического признака урожая. Преимуществом такого метода диагностики состояния растений весной, по мнению авторов, по сравнению с другими широко известными методами (отращивание растений в монолитах, промораживание растений в холодильных камерах и др.) является то, что он дает возможность получить практически однозначный (осредненный по данному полю) и оперативный ответ относительно возможной изреженности после перезимовки, а также определить необходимость пересева с заблаговременностью полторы-две недели до начала весенней вегетации.

Как же идет процесс закалывания и накопления сахаров у растений разных сроков сева или, точнее, растений разного возраста?

Изучение влияния сроков сева и зимних оттепелей на динамику сахаров проводилось Ф. М. Куперман с 1935 г. в условиях Харьковской опытной станции в течение нескольких лет [7]. Анализы показали, что при общем падении содержания сахаров у растений под снегом после освобождения их из-под снега в период длительной оттепели и положительных температур днем (даже при 3—10°C) растения способны фотосинтезировать. При этом содержание сахаров в них увеличивается.

Аналогичные данные наблюдали многие исследователи весной в годы, когда озимые растения рано освобождаются от снежного

покрова и устанавливаются условия, благоприятные для фотосинтеза. В такие годы снежная плесень не успевает развиваться, и растения, несмотря на то что они ослаблены и истощены из-за длительной траты углеводов под глубоким снежным покровом, все же сохраняются и начинают вегетировать.

К. М. Пыйклик [27] ежегодно сравнивал состояние озимых, вышедших из-под снега и находящихся под снегом. В растениях, вышедших из-под снега и находящихся от 2 до 5 дней на свету, было на 80% больше сахаров в листьях и на 60% больше в узлах кущения по сравнению с растениями под снегом (табл. 8).

Таблица 8
Количество сахаров у озимой ржи в Куузику весной
(% от сухого вещества)

Местоположение растений	Даты определения сахаров			
	12 III	14 III	20 III	21 III
Под снегом				
в листьях	11,9	—	6,5	6,2
в узлах кущения	—	—	13,2	12,6
На свету				
в листьях	20,5	21,0	17,3	20,7
в узлах кущения	—	—	16,5	16,9

Ранней весной, когда имеет место значительная амплитуда дневных и ночных температур, растения могут снова закаливаться и благодаря этому выдерживать возвраты морозов. О содержании сахаров в листьях и узлах кущения ранней весной можно судить по данным табл. 9.

Таблица 9
Содержание сахаров у озимых растений в фазе трубки после раннего схода снега весной

Срок сева	Состояние растений ранней весной	Содержание сахаров (% от сухого веса)	
		в листьях	в узлах кущения
Оптимальный	Главные побеги (трубка)	33,0	35,9
	Боковые побеги (трубки нет)	31,5	
	Растения, у которых не было трубкования	32,7	30,5
Поздний	Растения в фазе кущения (трубкования нет)	36,2	28,3

Уже в ранних работах И. И. Туманова [34] были опубликованы данные о сортовых различиях озимых культур по устойчивости их к выпреванию (табл. 10).

Таблица 10

Характеристика перезимовки растений под глубоким снегом (%)

Число дней яровизации семян	Сроки сева														
	25 VIII					5 IX					25-IX				
	0	10	20	30	45	0	10	20	30	45	0	10	20	30	45
Озимая пшеница															
Лютесценс 0329	37	—	20	18	2	61	—	38	32	13	100	—	100	59	67
Московская 02411	39	—	25	7	10	44	—	29	3	2	47	—	31	12	0
Озимая рожь															
Вятка	85	61	65	50	18	78	61	14	15	—	—	—	—	—	—

Разную устойчивость к выпреванию озимых растений среди сортов разного происхождения установил Н. Н. Яковлев [44]. Он отметил некоторую связь между устойчивостью растений и эколого-географическими условиями их происхождения.

Растения из стран, где озимые часто подвергаются выпреванию, гибнут меньше, чем растения, реже зимующие под избыточным снежным покровом. Так, меньше всего образцов выпало из тех, которые получены из Швеции, где высокий снежный покров часто сочетается с теплыми зимами; в горных районах Австрии также формировались сорта, устойчивые к выпреванию.

На основе опытов с избыточным снежным покровом, проведенных во Всесоюзном институте растениеводства (г. Пушкин под Ленинградом) в типичном для выпревания году, Н. Н. Яковлев [44] приводит сведения, которые мы публикуем в табл. 11.

Из этих данных видно, что сорта пшеницы из районов, где редко складываются условия, приводящие к выпреванию (Среднеазиатская, Закавказская, Южностепная и Южнолесостепная экологические группы), менее устойчивы к выпреванию, чем сорта пшеницы Северорусской и Лесостепной волжской экологических групп.

Интересные данные о содержании сахаров у озимых и яровых культур и их гибели после перезимовки в Эстонской ССР (агрометстанция Куузику) зимой 1957/58 г. приводит К. М. Пыйклик (табл. 12).

Из табл. 12 видно, что у озимой ржи Сангасте и Приекули накопилось примерно одинаковое количество сахаров в узлах кущения, но в листьях у Сангасте было на 10% сахаров больше. Во время перезимовки Приекули израсходовала сравнительно больше сахаров и погибло ее примерно в 2 раза больше. У озимой пшеницы испытывалось 5 сортов. Больше других накопили сахаров

Пуук и Куузику — в среднем на 20% больше, чем сорта второй группы — Луунья улучшенная, Гибрид 599. Итоги перезимовки показали, что растений второй группы погибло в среднем на 30—40% больше.

Таблица 11
Устойчивость озимых сортов пшеницы к выпреванию
(баллы) (Пушкин, 1956 г.)

9—10	5—6
Лютесценс 116	Украинка
Московская 2411	Одесская 3
Колхозница	Ставрополька 328
Приекульская	Ворошиловская
Боровичская	
Куузику	
Луунья	
8—9	4—5
Ульяновка	Новокрымка 204
Сандомирка	Земка
Лютесценс 329	Кооператорка
7—8	3—4
Лютесценс 1060/10	Грекум 433
Эритроспермум 15	Долис—Пури
6—7	1—3
Лютесценс 17	Шарк
Лесостепка 74	Сурхак
Ферругинеум 1239	Ироды
Эритроспермум 917	

Кроме вышеназванных сортов, исследовались озимый ячмень Мандорф и яровая пшеница Каука и Диамант. Ячмень содержал как в листьях, так и в узлах кущения примерно одинаковое с яровой пшеницей Каука количество сахаров, однако у ячменя погибло всего 60% растений, а оба сорта яровой пшеницы погибли полностью.

По результатам определения сахаров выяснилось, что во время интенсивного роста растений осенью они содержали 3—9% сахаров в листьях и 7—12% в узлах кущения. С начала периода закаливания постепенно увеличивается общее их количество как в листьях, так и в узлах кущения.

При очень длительном залегании мощного снежного покрова в значительной степени выравнивается содержание углеводов к весне, что имеет место в условиях Северо-Востока Европейской части СССР и нередко в западных районах СССР. Различия в гибели разных сортов значительно сглаживаются (табл. 13).

Таблица 12

Содержание сахаров у озимых и яровых зерновых культур и гибель их после перезимовки в Куузинку в 1957/58 г.

Культура и сорт	Срок сева	Фаза развития при прекращении вегетации ¹	Содержание сухого вещества в клеточном соке (%)		Содержание сахаров (% от сухого вещества)				Гибель к концу перезимовки (%)	
			в начале зимы (26 X I)		в начале зимы (26 X I)		в конце зимы (15 IV)		растения	листья
			узлы кущения	листья	узлы кущения	листья	узлы кущения	листья		
Озимая рожь Сапгасте	6 IX	2 побега	12,2	9,2	30,9	21,0	8,7	5,9	8	20
Озимая пшеница Пуук	7 IX	2 побега	11,1	9,9	31,0	21,4	11,1	6,1	14	25
Озимая рожь Приекули	6 IX	2 побега	8,4	10,1	31,2	19,4	6,3	5,3	15	40
Озимая пшеница Луунья улучшенная	7 IX	3 побега	8,3	9,0	25,7	18,2	5,8	3,0	20	30
Озимая пшеница Куузинку	7 IX	2 побега	10,5	10,2	29,6	20,8	5,6	3,8	15	25
Озимая пшеница Гибрид 599	7 IX	2 побега	7,1	8,6	23,9	20,2	5,0	3,7	20	25
Яровая пшеница Каука	14 IX	3-й лист	9,6	7,5	17,4	15,8	—	—	40	60
Озимый ячмень Мандорф	14 IX	2 побега	6,9	6,9	18,8	15,5	—	—	60	80
Яровая пшеница Диамант	7 IX	2 побега	5,9	5,7	12,7	8,3	—	—	100	100

¹ При фазе кущения указывается только число побегов.

Таблица 13

Влияние длительности зимнего периода на перезимовку озимой пшеницы
(% сохранившихся растений)

Сорт	Продолжительность зимы (дни)					
	120	140	160	180	200	250
Колхозница	98,1	93,9	48,6	43,4	36,7	30,4
Дюрабль	97,4	91,8	47,4	42,6	35,2	28,3
Лютеценс 329	94,3	90,6	40,1	38,4	30,1	25,2
Кооператорка	94,0	87,1	38,5	32,2	29,3	20,7

Одной из существенных причин значительно меньших различий в устойчивости сортов озимых культур к выпреванию является то, что под глубоким снежным покровом, особенно когда начинается снеготаяние и влажность в среде растений достигает 90—100%, на них развиваются грибы.

М. И. Рыбакова [31] предложила косвенный метод определения степени зимостойкости сортов озимой пшеницы и ржи — наблюдения за динамикой олигосахаридов. Наряду с устойчивостью растений к вымерзанию она изучала также реакцию сортов на осеннее и зимнее потепление и гибель растений от выпревания. В качестве стандартов разной устойчивости сортов к неблагоприятным факторам зимовки она использовала озимую рожь Житкинская и озимую пшеницу Ульяновка — зимостойкие сорта, пшенично-пырейный гибрид 186 — среднезимостойкий и озимую пшеницу Моцинаве — слабозимостойкий сорт. Всего за 7 лет было испытано более 50 сортов и селекционных образцов.

В узлах кущения и листьях озимых растений в условиях Подмосковья содержатся спирторастворимые углеводы олигосахариды, сахара, глюкоза и фруктоза. Обычно больше всего с осени в озимых растениях сахарозы — от 30 до 60% (в зависимости от сорта и условий осени), фруктозы от 10 до 45%, олигосахаридов от 10 до 30% (в отдельные периоды у ржи до 40%) и меньше всего глюкозы — от 10 до 20% (табл. 14).

После выхода из зимы наиболее закономерная связь между зимостойкостью образцов озимых культур прослеживается по содержанию олигосахаридов, менее четко, однако закономерно, проявляется связь между содержанием фруктозы и зимостойкостью (табл. 15).

М. И. Рыбакова [31] на основе многолетних анализов динамики содержания олигосахаридов в растениях рекомендует использовать их как показатель для оценки зимостойкости разных сортов (табл. 16). При этом изменение содержания олигосахаридов, их значительная трата особенно проявляются в зимы со слабым про-

Таблица 14

Содержание сахаров в узлах кущения растений ржи и пшеницы
(% от суммы сахаров)

Сорт	19 X				4 X I			
	олиго-сахариды	сахара-роза	глюкоза	фруктоза	олиго-сахариды	сахара-роза	глюкоза	фруктоза
Вятка московская	27,6	52,6	4,8	15	28,2	30	6,6	35,1
Ульяновка	17,0	50	9,3	24	17	35	9,5	38,6
ППГ-186	20,6	48	14,2	17,1	9,1	34,5	18,7	37,5
Кооператорка	13,2	50,2	12,1	24,2	10,3	33,5	11,3	44,7

Таблица 15

Содержание углеводов в узлах кущения у сортов озимой пшеницы и ржи (% от сухого вещества). 14 апреля 1965 г.

Сорт	Олиго-сахариды	Сахароза	Глюкоза	Фруктоза
Житкинская	3,00	11,66	0,04	5,72
Ульяновка	2,24	9,52	1,72	5,52
Мироновская 808	2,00	9,06	1,08	5,64
ППГ-186	1,10	5,96	1,12	4,34
Моцинаве	0,86	3,16	1,14	2,58

мерзанием почвы и минимальными температурами на уровне узла кущения, близкими к 0°C. Такими были зимы 1961/62 и 1965/66 гг. (табл. 17).

Таблица 16

Содержание углеводов в узлах кущения у сортов озимой пшеницы и ржи (% от сухого вещества). 15 апреля 1962 г.

Сорт	Олиго-сахариды	Сахароза	Глюкоза	Фруктоза
Житкинская	2,98	13,87	1,10	8,94
Ульяновка	1,12	11,06	1,10	10,76
Алабасская	1,12	9,42	1,36	11,08
Мироновская 808	1,06	12,9	0,10	11,56
Кунцевская 45	1,06	9,88	0,04	8,20
Моцинаве	0	3,16	0	1,94

Поскольку наиболее значительные изменения содержания олигосахаридов как у озимой ржи, так и у озимой пшеницы имеют место в теплые зимы, нужно полагать, что этот показатель можно использовать при характеристике устойчивости сортов к выпреванию.

Таблица 17

Содержание олигосахаридов в узлах кушения у сортов озимой пшеницы и ржи по годам (% от сухого вещества)

Сорт	1961/62		1962/63		1963/64		1964/65		1965/66	
	15/XI	12/IV	14/XI	19/IV	15/XI	10/IV	12/XI	14/IV	23/XI	4/IV
Вятка московская	5,9	2,7	10,0	6,3	12,8	8,3	9,4	3,8	9,4	2,8
Ульяновка	3,0	1,1	4,0	1,9	8,7	5,5	6,9	2,2	3,2	0,0
ППГ-186	2,1	0,6	4,0	3,0	12,8	2,7	9,4	1,1	5,8	0,6
Кооператорка	2,0	Следы	3,8	1,0	10,9	3,0	5,1	1,2	4,4	0,5

Содержание олигосахаридов при сравнительной оценке устойчивости к выпреванию — значительно более достоверный показатель, чем содержание сахарозы и фруктозы. Однако при их определении надо учитывать происхождение сортов и их приспособленность к тем или иным типам зимы. Так, анализы олигосахаридов подтвердили уже известные данные о том, что наиболее морозостойкие сорта степного происхождения, где снежный покров обычно непродолжителен, далеко не всегда являются одновременно и наиболее устойчивыми к выпреванию.

Г. Салчева [48] в Болгарии изучала динамику свободных аминокислот. В результате применения метода одномерной хроматографии на бумаге и визуального определения количества отдельных аминокислот было показано, что в процессе закаливания (с понижением температуры осенью и в начале зимы) количество свободных аминокислот в листьях и особенно в узлах кушения увеличивается. Особенно заметно повышение содержания аспарагина, серина, глютаминовой кислоты, аланина и пролина. При этом наблюдается положительная корреляция между накоплением пролина в узлах кушения и морозоустойчивостью сортов пшеницы.

Г. Салчева проводила опыты при пониженной (45%), повышенной (85%) и оптимальной (60%) влажности почвы. Исследования показали, что в процессе закаливания с повышением влажности почвы снижается количество свободных аминокислот в листьях и узле кушения. При этом в растениях, выращиваемых при пониженной влажности почвы, в период прохождения I и II фаз закладки больше всего пролина накапливается в узлах кушения.

При понижении температуры у озимых пшениц происходит смещение ферментативных реакций в сторону преобладания гидролиза над синтезом. Согласно исследованиям Н. М. Сисакяна, при известной глубине смещения ферментативных реакций в сторону гидролиза, названной им «границей смерти», происходит декомпенсация физиологических процессов, вызывающая отмирание растений.

Л. Н. Романовой [30] проведены исследования коэффициентов смещения ферментативных реакций у разных по степени морозостойкости сортов озимой пшеницы. Коэффициенты смещения устанавливались путем деления показателей синтез/гидролиз на каждую дату анализа по отношению к этому же показателю в сентябрьских пробах (табл. 18).

Таблица 18

Коэффициенты смещения ферментативных реакций при переходе от теплого осеннего к холодному зимнему периоду у сортов озимой пшеницы

Сорт	Отношение $\frac{\text{синтез}}{\text{гидролиз}}$		Коэффициент смещения	
	30 IX	30 X	30 IX	30 X
Лютесценс 230	0,96	1,18	1,0	1,22
Московская 2453	0,91	1,05	1,0	1,15
ППГ-186	0,92	1,00	1,0	1,08
Кооператорка	0,90	0,84	1,0	0,93

Данные, полученные Л. Н. Романовой, совпадают с результатами исследований А. В. Благовещенского. Так, если для каталазы у зимостойкой пшеницы он получил $Q_{10}=1,35$, а у среднезимостойкой $Q_{10}=1,78$, то в опытах Л. Н. Романовой у морозостойкой озимой пшеницы Лютесценс 230 $Q_{10}=1,59$, а у слабозимостойкого сорта Кооператорка $Q_{10}=2,02$.

Исследования Л. Н. Романовой согласуются также с представлениями Б. А. Рубина, который показал, что величина Q_{10} не является постоянной и зависит как от состояния развития растений, так и от действия окружающих условий.

Одновременно с накоплением сахаров, аминокислот и обезвоживанием во II фазе протекают существенные для закалки растений процессы, связанные с изменением гидрофильности, вязкости и проницаемости протоплазмы. С понижением температуры вязкость протоплазмы возрастает, при этом снижается скорость биохимических процессов в клетках, способствуя тем самым их переходу к вынужденному покою. Изменяется проницаемость протоплазмы и ее адсорбционная способность.

Как видно из краткого обзора работ физиологов и фитопатологов, проведенных в северо-восточных и северо-западных районах Советского Союза, основной причиной гибели озимых культур является чрезмерная трата углеводов, истощение и затем голодание растений, приводящее к распаду белков при длительном пребывании

растений под глубоким снежным покровом в условиях температур, близких к 0°C на глубине залегания узла кущения. Поражение грибными заболеваниями является вторичной причиной гибели растений при выпревании, так как развитие грибов возможно только на уже ослабленных по сути, физиологически больных растениях.

Если в северо-восточных районах ЕТС в годы с небольшим снежным покровом и глубоким промерзанием почвы озимые редко страдают от вымерзания, а в южных степных районах, где почти не бывает избыточного снежного покрова, озимые чаще всего погибают от вымерзания и ледяных корок, то в средней полосе ЕТС озимые нередко подвергаются как воздействию сильных морозов при длительном бесснежье, так и выпреванию при выпадении снега на слабо промерзшую или талую почву.

Большинство исследований процесса закаливания озимых связано с изучением устойчивости растений к вымерзанию. Лишь очень немного работ посвящено выяснению корреляций между закаливанием и устойчивостью к выпреванию.

Исследованиями сахаров в связи с устойчивостью озимых культур к низким температурам начиная с Н. А. Максимова, А. А. Рихтера, И. И. Туманова занимались и сейчас занимаются многие физиологи. При этом одни авторы полностью подтверждали своими данными прямую связь между содержанием сахаров и устойчивостью озимых растений [7], другие авторы вносили ряд корректив в связи с сортовыми и другими особенностями озимых культур, а также агрометеорологическими условиями разных географических районов [44].

Н. Н. Яковлев [44], не отрицая роли закаливания и накопления углеводов для повышения морозостойкости пшеницы, приводит данные ряда исследователей, которые считают, что корреляции между содержанием углеводов перед уходом в зиму и перезимовкой озимой пшеницы не всегда достаточно ясны. Как и многие другие авторы, он полагает, что основное значение для перезимовки растений имеет не столько содержание сахаров в осенний период, сколько комплекс факторов в зимний и ранневесенний периоды.

С выводами Н. Н. Яковлева полностью нельзя согласиться, так как хотя в ряде случаев прямой связи устойчивости к неблагоприятным условиям с содержанием сахаров и не обнаруживается, однако защитная роль углеводов весьма существенна, как это показано в работах физиологов и селекционеров, связанных с изменением яровых форм в озимые [29] в процессе селекции таких зимостойких сортов, как Мироновская 808.

Решающую роль в последний период зимовки растений под избыточным снежным покровом играет развитие грибных заболеваний. Период развития грибных заболеваний, повреждения и гибели

от них растений, как уже указывалось, является третьей, завершающей фазой выпревания озимых.

Повреждения озимых снежной плесенью и склеротинией наиболее детально исследовались А. В. Пухальским [26] и С. М. Тупиневичем [36—38]. Склеротии представляют собой твердые образования, сверху черного цвета, внутри белые или желтые. Размер и форма склеротиев чрезвычайно разнообразны; обычно встречаются склеротии $1,5-10 \times 1-3,5$ мм. По форме они обычно округлые или овальные, однако можно встретить склеротии продолговатые и неправильной формы. В большинстве случаев склеротии плоские, толщина их не превышает $1-1,5$ мм.

В отдельные годы склеротии образуются больше в пазушной части листа и меньше на поверхности пластинки листа, где они находятся под эпидермисом. В другие годы склеротии образуются лишь на поверхности пластинки листа и совершенно не образуются в пазушной части листа. Это объясняется условиями года (толщиной снежного покрова, температурой и т. п.). Число склеротиев на одном растении может быть от 1 до 25 и больше.

Образовавшиеся весной склеротии гриба для прорастания требуют определенного периода созревания на свету, в природных условиях. Весной в год образования они не прорастают. Наоборот, если ранней весной молодые склеротии гриба будут заделаны в почву на глубину 3—6 см, то через 75—80 дней они полностью разложатся под влиянием сапрофитных грибов, бактерий и нематод. Прорастают склеротии только осенью, после созревания на поверхности почвы. Для прорастания склеротиям необходимы свет, повышенная влажность воздуха и почвы и невысокая температура ($2-12^{\circ}\text{C}$). При этих условиях прорастающие склеротии образуют сумчатое плодоношение гриба — апотеции с сумкоспорами. В Ленинграде на полевом участке Всесоюзного института защиты растений прорастание склеротиев было отмечено в половине октября 1937 и 1938 гг. В природных условиях на Фаленской селекционной станции прорастание склеротиев и образование апотециев гриба в 1936 и 1937 гг. было отмечено в начале октября [44].

Осенью при перебегающих дождливых и солнечных днях зрелые сумкоспоры гриба выбрасываются в воздух. Попадая на озимые растения, сумкоспоры легко прорастают и заражают их. Таким образом, в зимовку идут зараженные растения. Весной под снегом при невысокой положительной температуре на них развиваются мицелии гриба, которые в конце своего развития на пораженном растении формируют новые склеротии. Следовательно, образование склеротиев является конечной стадией в цикле развития гриба.

Кроме пшеницы и ржи, склеротиния поражает многие кормовые травы (тимофеевку, райграс, овсяницу, пырей, мятлик, ежу сборную) и злаковые сорняки, на которых гриб может

поддерживаться на полях. Склеротии гриба могут сохраняться в почве 1—2 года и не теряют способности к прорастанию и образованию апотециев с сумкоспорами.

А. В. Пухальским [26] была проведена большая работа по изучению устойчивости сортов озимой пшеницы к склеротинии. Особое внимание он уделял поиску устойчивых к склеротинии форм озимой пшеницы и характеристике различных экологических групп пшениц по этому признаку. В течение трех лет удалось провести оценку устойчивости к склеротинии более 2 тысяч образцов озимых пшениц из мировой коллекции ВИР. В годы эпифитотии на всех образцах коллекции, входящих в состав различных экологических групп, были найдены склеротии гриба, что свидетельствовало об их заражении *Sclerotinia graminearum* Elen, однако отрастание образцов было различным. Некоторые образцы, несмотря на поражение грибом, удовлетворительно развивались, образовывали молодые листья и впоследствии вышли в трубку, выколосились и дали урожай. Большинство же образцов коллекции полностью выпало или сохранилось лишь частично.

А. В. Пухальский отметил довольно четкую группировку по степени весеннего отрастания пшеницы у образцов различных экологических групп. Более высокой степенью зимостойкости и лучшим отрастанием в весенний период характеризовались представители Скандинавской, Западноевропейской гибридной, Алтайской и Североамериканской гибридной экологических групп. Несколько уступали им по этим признакам образцы Северорусской экологической группы. Худшие показатели (гибель и слабое отрастание) были отмечены у образцов Южноевропейской, Придунайской, Балканской, Восточноазиатской, Каширской и Кашгарской экологических групп. К числу наиболее устойчивых к склеротинии образцов он отнес сорта озимой пшеницы Северовосточного селекционного центра (ныне Фаленской селекционной станции).

В результате изучения поражения озимых пшениц склеротинией автор пришел к выводу, что устойчивость (сопротивляемость) образцов определяется способностью их переходить к интенсивному росту в весенний период, образовывать новые корни и листья и, таким образом, уходить от выпревания. В этом отношении роль агротехнических факторов имеет исключительно большое значение. В работах С. М. Тупиневича [36, 37] указывается на значение высокой агротехники в борьбе с гибелью озимых от склеротинии.

Снежная плесень, мощно развиваясь на голодающих растениях и ускоряя расход белков, приводит к гибели сначала листьев, касающиеся почвы, затем основания укороченных стеблей, а в дальнейшем и узлы кушения. Листья пораженных растений пригибаются к почве, обесцвечиваются. На них появляется скопление грибов, вначале белого цвета (отсюда и название «снежной» плесени), затем при плодоношении образуется розовый оттенок. Ми-

целии гриба распространяются от одного листа к другому, они как бы склеиваются. Болезнь быстро переходит от одного растения к другому, захватывая все большие участки посева.

Различают разную степень поврежденности озимых растений. Первая степень — листья частично зеленые, узел кущения нормально тургорный, при быстром сходе снега весной и наступлении солнечной и теплой погоды отрастают новые листья. Поврежденные листья и часть сильно поврежденных растений отмирают. Стеблестой растений на участке изреживается. Вторая степень — листья частично поражены снежной плесенью, узел кущения слаботургорный. При длительном воздействии температур порядка 2—3°C идет процесс размножения мицелия и озимые растения часто сильно изреживаются. Третья степень — полная гибель, листья растений весной темно-бурого цвета, иногда с белым или сероватым налетом и склероциями гриба склеротинии. Основания растения и узла кущения желтые, бестургорные, характерной особенностью является легкий отрыв их в местах прикрепления узла кущения к корневой системе, которая обычно не поражается.

Не менее распространен и другой гриб, вызывающий аналогичные повреждения озимых, *Fusarium nivale* (Fr.) Ces.

Снежная плесень вызывается еще рядом других патогенных грибов; многие из них полифаги, которые поражают не только озимые культуры, но и многие виды дикорастущих злаков. В зависимости от почвенных условий, видов и сортов растений озимые культуры в одних районах чаще поражаются склеротинией, в других имеют место различные формы фузариоза. Агротехнические приемы, направленные на защиту посевов от выпревания, в большинстве случаев снижают вредоносность грибных заболеваний.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ В ОСЕННЕ-ЗИМНЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД КАК ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЗИМОСТОЙКОСТИ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР

Уже давно известно, что усиленный рост озимых в теплую и влажную осень ухудшает перезимовку посевов. В целях защиты растений от вымерзания и выпревания в сельскохозяйственной практике применялось осеннее подкашивание, рекомендовалось внесение с осени калийной подкормки, несколько тормозящей рост надземных органов.

Связь между ранним прекращением ростовых процессов осенью и зимостойкостью растений неоднократно отмечали И. М. Васильев [3], И. И. Туманов [35]. Известно, что более зимостойкие сорта осенью медленнее растут, формируют короткие, узкие листья и характеризуются прижатой к почве, распластанной формой куста в сравнении с менее зимостойкими [7, 12].

В течение длительного времени среди физиологов, растениеводов, агрометеорологов господствовали представления о том, что с наступлением зимнего периода и прекращением видимого роста озимых растений все их органы и ткани переходят в состояние глубокого покоя, так же как у древесных растений.

Действительно, как показали исследования П. А. Генкеля и Т. М. Живухиной [7], у озимых пшениц наблюдаются хотя и не столь длительные, однако четкие процессы обособления протоплазмы от клеточных оболочек, характеризующие состояние глубокого покоя. Однако в клетках листьев менее закаленных и особенно «переросших» растений слабозимостойких сортов состояние покоя длится не долго. У растений менее зимостойких сортов в условиях Подмоскovie число клеток, в которых наблюдается обособление протоплазмы, только в ноябре достигает максимума, а в начале марта растения уже полностью выходят из состояния покоя.

В годы с теплой затяжной осенью, когда снег выпадает на талую почву, у озимых растений переход в состояние глубокого покоя не наблюдается. В такие годы, как отмечал еще И. И. Туманов [35], даже под глубоким снежным покровом этиолированные листья озимой пшеницы растут.

Явления слабого роста вегетативных органов зимой под снегом наблюдали многие исследователи, отмечая, что баланс общего рас-

хода сахаров и расчетных данных траты сахаров на дыхание часто не совпадает. Следовательно, часть сахаров, расходуемых растениями под глубоким снегом, по-видимому, идет на ростовые процессы, хотя и незначительные.

Ослабление ростовых процессов, как отмечали многие исследователи, является одним из необходимых условий перехода растений из вегетирующего состояния, неустойчивого к неблагоприятным условиям перезимовки, к периоду покоя и прохождению второй фазы закалки к низким температурам зимы [35, 37]. Это же условие необходимо и для устойчивости растений при перезимовке под глубоким снежным покровом.

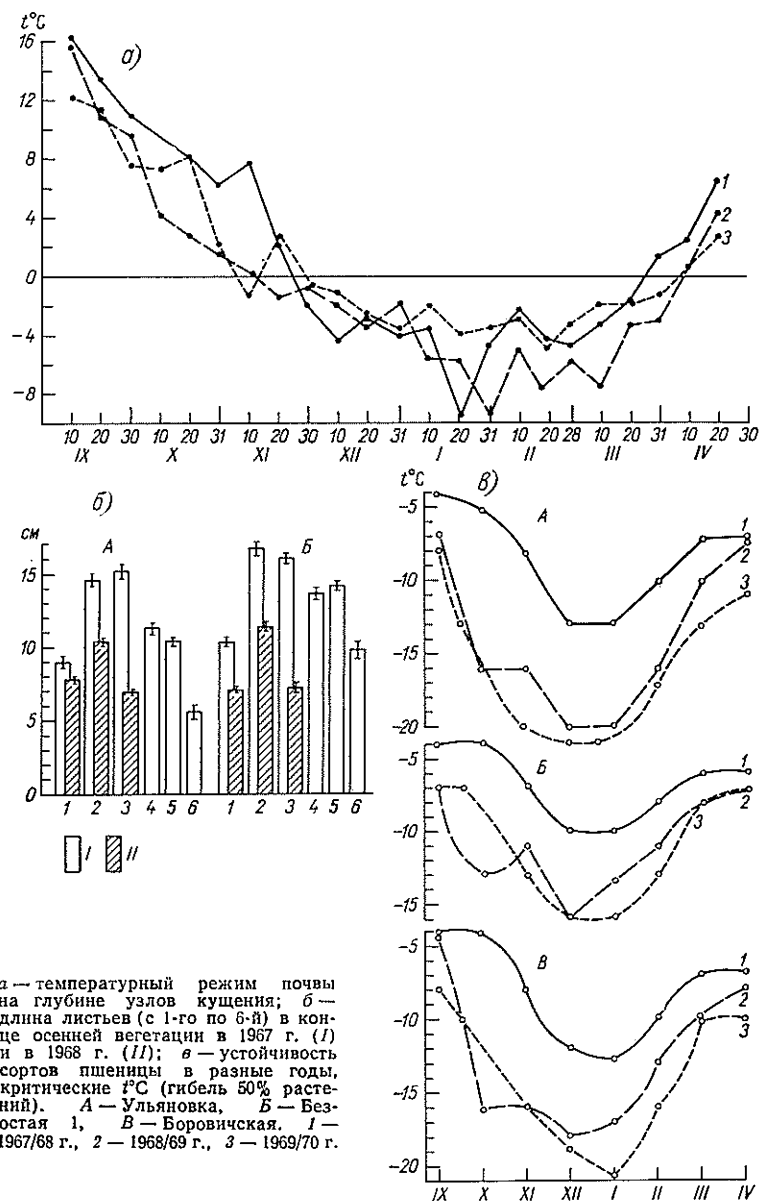
Каким же образом регуляторы роста, стимуляторы ростовых процессов начинают ингибировать в процессе закаливания растений в осенний период? Каково взаимодействие и соотношение регуляторов роста — ауксинов, гиббереллинов, кининов и разных стимуляторов и ингибиторов роста у озимых растений в осенний, зимний и ранневесенний периоды?

Роли ауксинов в процессе закаливания озимой пшеницы многими авторами придается большое значение. До последнего времени в литературе были слабо освещены вопросы динамики и соотношения стимуляторов и ингибиторов роста в процессе закаливания озимых растений [4]. В работах В. Г. Конарева (1959, 1964 гг.) были высказаны предположения, что влияние всех факторов внешней среды осуществляется через функциональную деятельность нуклеиновых кислот.

Наиболее интересные опыты по исследованию ростовых процессов при переходе растений из вегетирующего состояния в вынужденный покой проводились в последние годы В. В. Виноградовой [5]. Ею исследовалась морозоустойчивость озимой пшеницы в связи с интенсивностью роста и содержанием эндогенных стимуляторов и ингибиторов в осенний, зимний и весенний периоды, изучалось влияние обработки β -индолилуксусной кислотой на рост и уровень нативных ауксинов и ингибиторов при различных температурных режимах закаливания, а также исследовались изменения состояния ДНК в хроматине клеточных ядер.

Интенсивность роста в опытах В. В. Виноградовой определялась размерами листьев 60 растений и у 15 растений под микроскопом измерялась длина конусов нарастания. Биологическая активность ростовых веществ определялась по стимулированию или ингибированию роста отрезков coleoptилей озимой пшеницы.

Сопоставление данных интенсивности роста растений и уровня их морозостойкости показало (рис. 2), что различия в уровне морозостойкости исследуемых автором сортов Ульяновки, Боровичской и Безостой 1 зависели от интенсивности роста листьев растений в осенний период. Сниженная интенсивность роста осенью 1968 и 1969 гг. способствовала развитию более высокой устойчивости



а — температурный режим почвы на глубине узлов кущения; б — длина листьев (с 1-го по 6-й) в конце осенней вегетации в 1967 г. (I) и в 1968 г. (II); в — устойчивость сортов пшеницы в разные годы, критические $t^{\circ}\text{C}$ (гибель 50% растений). А — Ульяновка, Б — Безостая 1, В — Боровичская. 1 — 1967/68 г., 2 — 1968/69 г., 3 — 1969/70 г.

Рис. 2. Морозостойкость озимой пшеницы в зависимости от температурного режима почвы и интенсивности роста растений осенью.

растений. Исследования динамики морозостойкости растений В. В. Виноградова сопровождала измерениями конусов нарастания (табл. 19).

Таблица 19

Размеры конусов нарастания (мкм) озимой пшеницы в осенне-зимне-весенний период (1968/69 г.)

31 X	4 XII	28 III	27 III	12 IV	15 IV	5 V
------	-------	--------	--------	-------	-------	-----

Ульяновка

236 ± 8 | 236 ± 12 | 242 ± 15 | 253 ± 18 | 284 ± 8 | 338 ± 14 | 648 ± 21

Безостая 1

260 ± 12 | 270 ± 13 | 276 ± 15 | 300 ± 20 | 312 ± 21 | 390 ± 17 | 690 ± 33

Снижение устойчивости в опытах В. В. Виноградовой [5] совпало с периодом роста конусов нарастания, или, как формулирует автор, с периодом «скрытого роста» растений.

Результаты изучения динамики ростовых веществ в этих же опытах показали, что уже с осени в ходе закаливания стимуляторы в узлах кущения озимой пшеницы почти полностью инактивируются. При этом, что очень интересно, Ульяновка — высокоморозостойкий сорт — отличается меньшим уровнем стимуляторов, высокой скоростью их инактивации и более ранним наступлением осеннего физиологического максимума в содержании ингибиторов (рис. 3, 4). Для слабозимостойкого сорта Безостая 1 характерны медленная инактивация стимуляторов роста, более позднее наступление осеннего физиологического максимума в содержании ингибиторов и преобладание их активности над стимуляторами роста.

Из полученных В. В. Виноградовой [5] данных видно также, что в зимний период идет постепенное снижение ингибиторов роста и почти полное исчезновение их из тканей узлов кущения в период, предшествующий видимому росту.

На основании этих и литературных данных автор приходит к заключению, что во второй половине зимы даже при отрицательных температурах в узлах кущения озимой пшеницы изменяется интенсивность некоторых метаболических процессов, приводящих к потере закаленного состояния.

Это подтверждается также анализом состояния ДНК в конусах нарастания. У слабозимостойкого сорта Безостая 1 в дифференцированных тканях конуса нарастания при замораживании и особенно после оттаивания происходит заметная потеря части нуклеиновых кислот за счет их деградации. К сожалению, число таких

физиологических исследований, вскрывающих механизм ростовых процессов, пока еще очень невелико.

Значительно больше работ и наблюдений за ростом растений, в которых исследуются с помощью микроскопического метода изменения морфологии, величины, формы конусов нарастания, а в по-

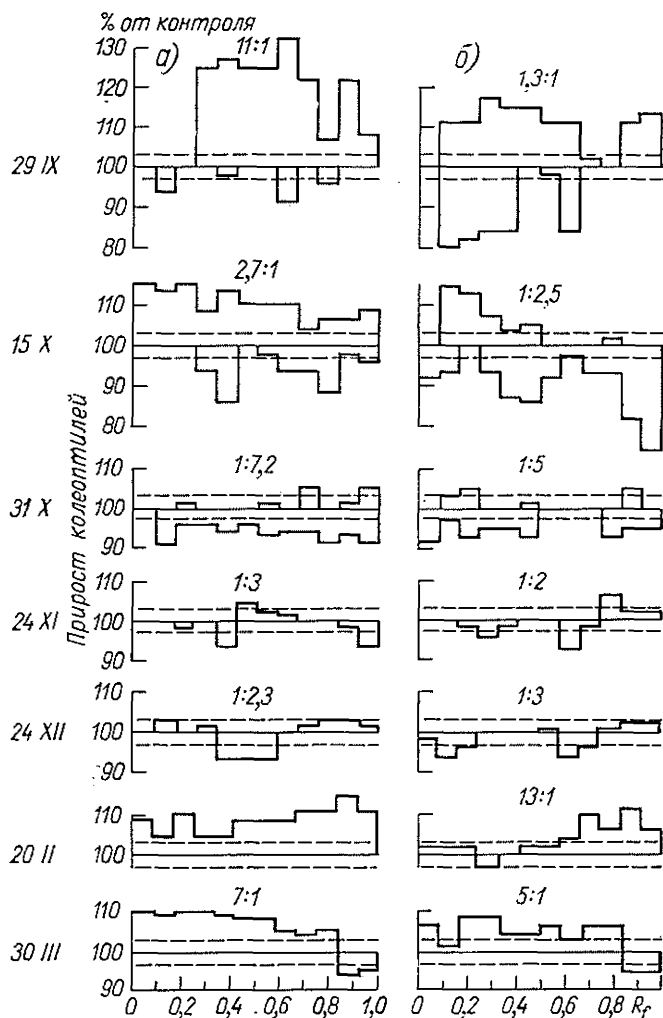


Рис. 3. Активность ростовых веществ, соотношение стимуляторов и ингибиторов (цифры над гистограммами) в узлах кущения озимой пшеницы (1968—1969 гг.).

а — Безостая 1, б — Ульяновка.

следние годы изучается состояние этапов органогенеза в осенний, зимний, весенний периоды.

Начиная с 1936 г. Ф. М. Куперман неоднократно отмечала, что в условиях положительных температур в почве зимой, особенно в период оттепелей, наблюдается хотя и незначительный, однако определенный рост конусов нарастания [7]. При этом если процесс проходит нормально, то у растений при переносе в теплицу конусы нарастания быстро переходят к дифференциации зачаточного колоса, к III—IV этапам органогенеза. В методических пособиях в 1936 г. Ф. М. Куперман рекомендовала диагностировать состояние озимых посевов путем наблюдений за конусом нарастания методом так называемого «доведения его до зачаточного колоса». Для этого часть растений в почвенных монолитах на 20—25 дней

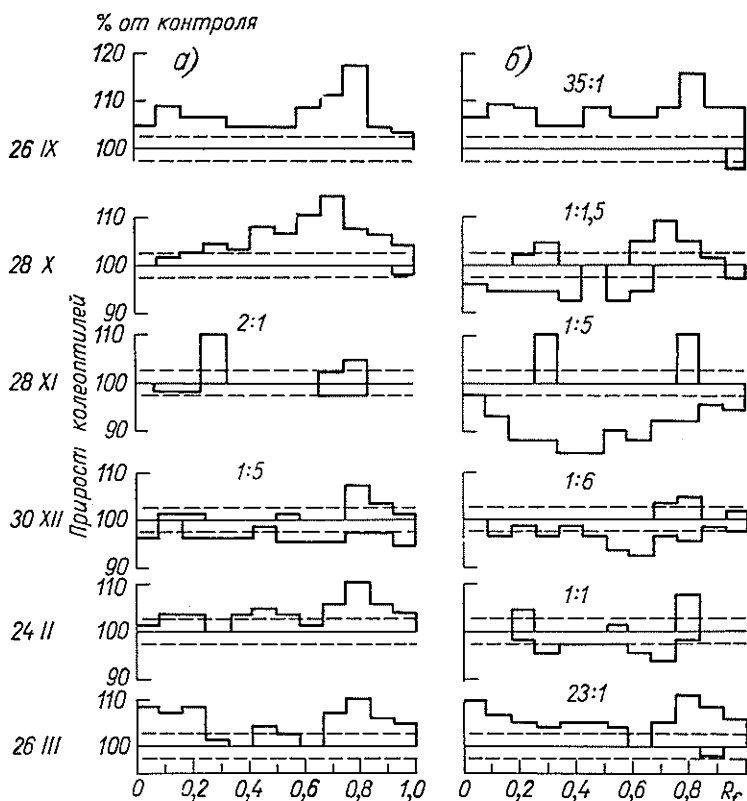


Рис. 4. Активность ростовых веществ в экстрактах из узлов кушени озимой пшеницы в процессе закалывания, перезимовки и возобновления весенней вегетации (1969—1970 гг.).

Усл. обозначения см. рис. 3.

(с момента взятия с поля) ставилась в условия круглосуточного освещения и затем анализировался зачаточный колос. Эта методика затем детальнее была описана в 1953 и 1956 гг.

После опубликования работы, в которой сообщалось об основных закономерностях прохождения этапов органогенеза [7], и схем, которые мы представляем на рис. 5 и 6, особенности органогенеза конусов нарастания в осенний и зимний периоды детально исследовались уже многими авторами [10, 12, 14, 18, 19, 22, 25, 45, 47].

Большинство сортов озимой пшеницы в условиях основных районов их возделывания находится перед уходом в зиму на II этапе органогенеза. Как отмечают Ф. М. Куперман [7, 10], В. А. Моисейчик [22] и многие другие авторы, в начале осени конуса нарастания у различных сортов характеризуются сравнительно близкими вели-

Таблица 20

Рост конуса нарастания в зимний период у разных типов озимых пшениц в зависимости от метеорологических условий и сроков посева [12]

Дата посева	Дата взятия пробы	Мироновская 808		Кунцевская 45		Ульяновка	
		этап	прирост (%)	этап	прирост (%)	этап	прирост (%)
25 VIII 1966 г.	21 X 1966 г.	II	100	II	100	II	100
	12 IV 1967 г.	II	147	II	145	II	130
7 X 1966 г.	29 X 1966 г.	II	100	II	100	—	—
	12 IV 1967 г.	II	124	II	119	—	—
10 X 1965 г.	6 XII 1965 г.	II	160	II	100	II	100
	22 III 1966 г.	II	104	II	138	II	120
	16 IV 1966 г.	II	115	II	141	II	266

Дата посева	Дата взятия пробы	Фанал		Хохланд	
		этап	прирост (%)	этап	прирост (%)
25 VIII 1966 г.	21 X 1966 г.	II	100	II	100
	12 IV 1967 г.	II	136	II	167
7 X 1966 г.	29 X 1966 г.	II	100	II	100
	12 IV 1967 г.	II	119	II	109
10 X 1965 г.	6 XII 1965 г.	II	100	II	100
	22 III 1966 г.	II	132	II	130
	16 IV 1966 г.	II	135	II	144

чинами, особенно если быстро снижается температура (ниже —5, —8°C).

Так, в начале ноября 1966 г. в Московской области у таких сортов, как Ульяновка и ППГ-559, длина конуса нарастания была 0,19 мм, у менее зимостойких сортов Московская 2453 и Одесская 16 длина составила 0,23 мм, у сравнительно слабозимостойкого сорта Безостая 1 также 0,23 мм. Из табл. 20 видно, что в разные сроки сева, в различные по метеорологическим условиям годы у растений всех сортов (за исключениями, как это будет показано дальше, аномальных лет и сверххранних сроков посева) конусы нарастания перед уходом в зиму находились на II этапе органо-генеза.

Осенью очень мало различались по размерам конуса нарастания такие сорта, как зимостойкие Ульяновка, Мироновская 808 и слабозимостойкие Хохланд и Фанал. В условиях 1964/65 г., когда в Московской области был избыточный снежный покров, почти у всех испытываемых сортов наблюдалось вытягивание в длину конусов нарастания и в феврале их прирост в длину значительно превышал норму. Однако все сорта до выхода из-под снега были на II, реже на III этапе органо-генеза. Сортные различия по дифференциации и величине конуса нарастания у разных по зимостойкости сортов легче обнаружить при отращивании растений зимой в теплице или ранней весной в полевых условиях (табл. 21).

Аналогичные данные по изменению длины конуса нарастания получены В. И. Понамаревым. Как видно из табл. 22, интенсивность роста конуса нарастания в зимний период под снежным покровом в значительной степени зависит от возрастного состояния растений, сортных особенностей и погодных условий. Так, наиболее интенсивный рост конуса нарастания на одном и том же этапе органо-генеза наблюдался у «возрастностарых» растений при раннем сроке сева. Наименьшими темпами прироста длины конуса нарастания в условиях Подмоскovie отличались растения сентябрьского срока сева. Столь же закономерно изменялась длина конуса нарастания в зависимости от степени зимостойкости сорта — меньше всего прирост в длину конуса нарастания наблюдался у наиболее зимостойкого сорта Ульяновка. Зимний рост конуса нарастания изменялся также в зависимости от температурного и водного режима осени и зимы. Так, в засушливую осень 1966 г. растения всех сортов и всех сроков сева формировали более короткий конус нарастания, чем в 1965 г.

Связь между интенсивностью ростовых процессов (и особенно интенсивностью роста конуса нарастания) ранней весной и морозостойкостью сорта отлично прослеживается в опытах, проведенных зимой 1966/67 г. Чем интенсивнее шел рост конусов нарастания в условиях избыточного снежного покрова 1966/67 г., тем выше был процент гибели растений (табл. 23).

Таблица 21

Динамика прохождения этапов органогенеза и изменение длины конусов нарастания разных сортов озимой пшеницы под избыточным снежным покровом (Москва, 1964/65 г.)

Сорт	Показатель	11 XI			13 II			21 IV			
		А	Б		А	Б		А		Б	
Ульяновки	Этап органогенеза	II	—	III	II	III	IV	—	III	IV	V
	% от общего числа растений	100	—	100	100	85	15	—	100	10	90
	Длина конуса нарастания, мм	0,20	—	0,29	0,20	—	0,4	—	0,32	—	1,7
Мироновская 808	Этап органогенеза	II	II	III	II	III	IV	II	III	IV	V
	% от общего числа растений	100	23	77	100	30	70	4	96	10	90
	Длина конуса нарастания, мм	0,21	—	0,21	0,21	—	0,7	—	0,29	—	2,1
Кушчевская 45	Этап органогенеза	II	—	III	II	III	IV	II	III	IV	V
	% от общего числа растений	100	—	100	100	80	20	40	60	20	80
	Длина конуса нарастания, мм	0,21	—	0,32	0,21	—	0,9	—	0,26	—	2,2
Безостая 1	Этап органогенеза	II	IV	V	II	IV	V	—	III	—	V
	% от общего числа растений	100	20	80	100	67	33	—	100	—	100
	Длина конуса нарастания, мм	0,21	—	0,92	0,21	—	1,4	—	0,31	—	2,4

Примечание. А — состояние растений в день взятия проб с поля; Б — то же, после отращивания их в течение 30 дней в теплице.

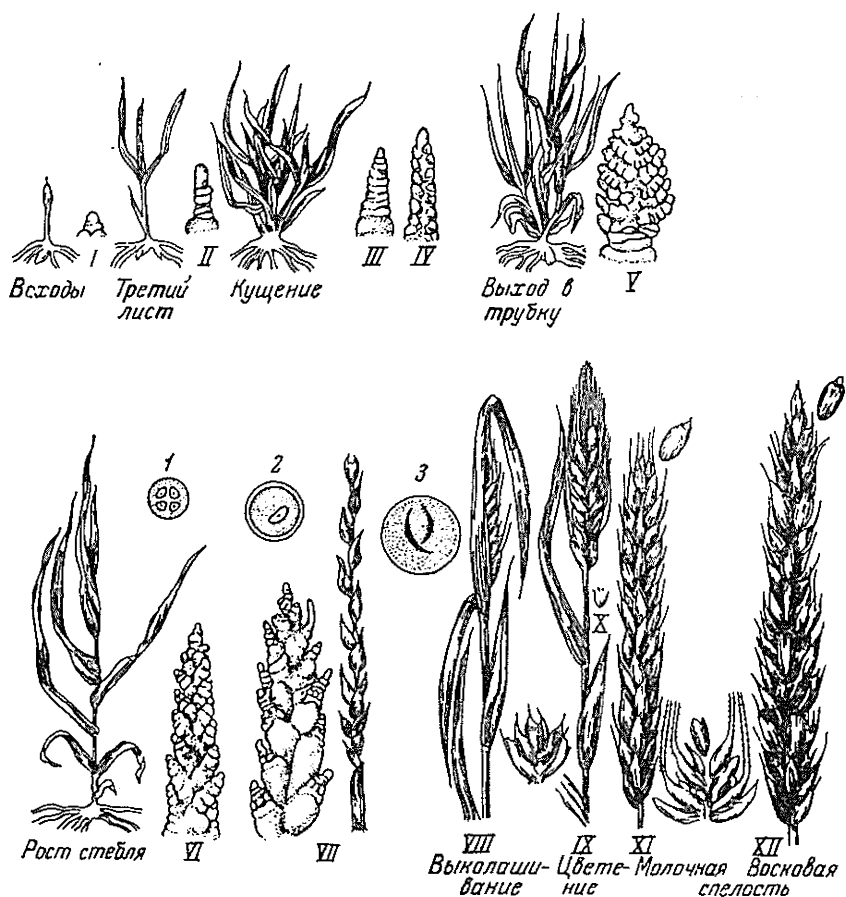


Рис. 5. Фазы развития и этапы органогенеза озимой пшеницы.

I этап — недифференцированный конус нарастания; II этап — дифференциация зачаточного стебля на узлы и междоузлия (начало формирования влагалищ стеблевых листьев); III этап — сегментация нижней части конуса нарастания и формирование зачаточных кроющих листьев (брактен); IV этап — начало формирования колосковых бугорков; V этап — формирование цветков в колосках; VI этап — формирование пыльников и пестика; VII этап — формирование половых клеток (гаметофита), рост в длину члеников колосового стебля, покровных органов, колосковых чешуй, цветков; VIII этап — выколашивание; IX этап — цветение, оплодотворение, образование зиготы; X этап — формирование зерновки; XI этап — молочная спелость (накопление питательных веществ); XII этап — восковая спелость (перевод питательных веществ в запасные) и созревание семян; 1, 2, 3 — последовательное формирование пыльцы.

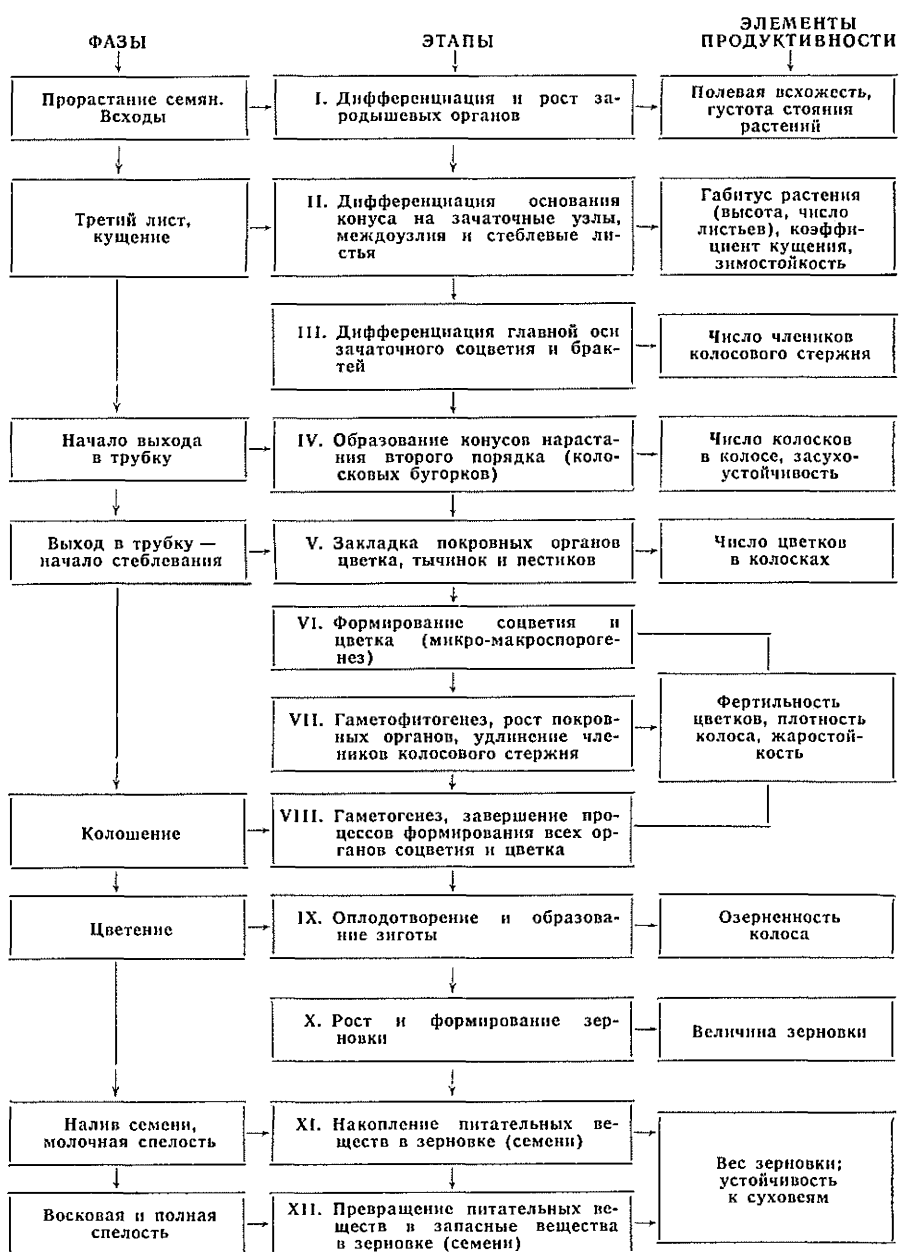


Рис. 6. Формирование элементов продуктивности пшениц на разных фазах развития и этапах органогенеза.

Влияние ростовых процессов на изменение зимостойкости растений отмечает в своих работах А. И. Митрополенко (1975 г.). В табл. 24 приведены его данные по морозостойкости разновозрастных растений в условиях Краснограда (Харьковской области). В табл. 25 показано, что в течение зимнего периода у растений отмечалось изменение длины конуса нарастания, при этом четко проявилось влияние возрастного состояния растений, сортовых особенностей и погодных условий.

Таблица 22

Изменение длины конуса нарастания у разновозрастных растений озимой пшеницы за зимний период

Сорт	Срок сева					
	16 VIII		26 VIII—29 VIII		10 IX	
	А	Б	А	Б	А	Б
1965/66 г.						
Ульяновка	339	153	262	146	177	128
Мироновская 808	409	165	324	157	240	137
1966/67 г.						
Ульяновка	252	122	193	109	150	104
Мироновская 808	314	140	252	129	189	111

Примечание. А — длина конуса в начале весенней вегетации; Б — в % от длины конуса перед уходом в зиму.

Таблица 23

Интенсивность роста конусов нарастания в зимний период у озимых пшениц разной зимостойкости в условиях Московской области [12]

Сорт	21 X 1965 г.		12 IV 1966 г.		
	этап органогенеза	длина конуса нарастания	этап органогенеза	длина конуса нарастания	% живых растений после зимовки при бесснежье
Ульяновка	II	0,20	II	0,39	40,4
Мироновская 808	II	0,20	II	0,44	49,0
ППГ-186	II	0,26	II	0,46	46,0
Кунцевская 45	II	0,26	II	0,45	44,0
Безостая 1	II	0,33	II—III	0,59	20,0
Кваметас	II	0,30	II	0,57	23,0
Фанал	II	0,36	II	0,59	10,0

Растения сортов Кунцевская 45 и Немчиновская 495 как в конце осенней вегетации, так и в начале весеннего отрастания имели более удлиненный и дифференцированный конус по сравнению с растениями сорта Ульяновка.

Таблица 24

Морозостойкость озимой пшеницы Мироновская 808 разных сроков посева (февраль 1972 г.)

Дата посева	Состояние конуса нарастания на II этапе органогенеза	Без промораживания (контроль)	Температура промораживания (°C) (24 ч)			
			16	19	21	23
			сохранилось растений (%)			
17 VIII	Сильно вытянут, листовые валики	81,9	55,5	30,0	0	0
23 VIII	Вытянут, листовые валики	90,0	61,6	33,3	7,7	0
1 IX	Начало вытягивания и появление листовых валиков	100,0	100,0	91,6	81,9	18,7
7 IX	Начало вытягивания	100,0	100,0	100,0	77,7	34,5
15 IX	Состояние перехода к вытягиванию	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблица 25

Изменение длины конуса нарастания у разновозрастных растений озимой пшеницы за зимний период (главный побег), 1964/65 г.

Сорт	Сроки сева							
	15 VIII	25 VIII	5 IX	15 IX	15 VIII	25 VIII	5 IX	15 IX
	длина конуса в начале весенней вегетации (мм)				в % от длины перед уходом в зиму			
Кунцевская 45	338	284	212	185	127	132	119	109
Немчиновская 495	328	297	224	191	138	123	112	108
Ульяновка	288	260	165	169	125	122	105	101

В условиях продолжительной осени и выпадения снега на талую или слабoproмерзшую почву при температуре, близкой к 0°C, у растений уже к началу ноября завершаются яровизационные процессы, снижается закалка и резко падает устойчивость как к критическим низким температурам, так и к условиям, вызывающим явления выпревания.

Установлено [7], что при посеве яровизованными семенами растения резко снижают устойчивость к низким температурам, при этом посеянные в слишком ранние сроки, они сильнее страдают при промораживании.

Как выяснилось, при ранних сроках сева растения из яровизованных семян уже осенью переходят к III этапу органогенеза, причем сорта южной селекции (Одесской селекционной станции) быстрее завершают яровизацию, чем сорта Мироновской и Харьковской селекции, и поэтому сильнее повреждаются.

И. И. Туманов [34] также отмечал, что способность к закаливанию у яровизованных растений снижалась, по-видимому, оттого, что у них усиливалась интенсивность роста. Почти как правило растения из яровизованных семян росли быстрее, листья были длиннее; состояние конуса нарастания И. И. Тумановым не проверялось.

Зимой 1964/65 г. нами изучалась перезимовка пяти сортов озимой пшеницы: Ульяновка, Мироновская 264, пшенично-пырейные гибриды 186 и 559 и Безостая 1. Посев яровизованными и сухими семенами проводился в четыре срока: ранний для Московской области — 5 и 15 августа, оптимальный — 25 августа и поздний — 10 сентября, а также сорт озимой ржи Вятка. Зима 1964/65 г. была очень снежной, и озимые не только самого раннего срока — 5 августа, но и посевы 15 августа были значительно повреждены уже к концу февраля; весной растения всех сроков сева из яровизованных семян полностью погибли, на них бурно развилась снежная плесень, в то время как контрольные растения посева 25 августа и 10 сентября перезимовали на 70—90%.

Результаты этого опыта убедительно доказывают, что после завершения яровизационных процессов резко снижается устойчивость растений к выпреванию.

При интенсивном росте конуса нарастания даже в течение 1—2 месяцев резко снижается также устойчивость растений к вымерзанию и ледяной корке, что видно из данных 1970/71 г. (рис. 7) [10].

Зимой 1970/71 г. исследовалась зимостойкость восьми сортов озимых пшениц (Ульяновка, ППГ-186, Мироновская 808, Юбилейная 50, Безостая 1, Аврора, Ранняя 12, Сан-Пасторе, Цезиум 39 и сорт озимой ржи Вятка) на экспериментальном участке МГУ. Посев проводился в шесть сроков начиная со сверхраннего (с 29 июля по 3 октября 1970 г.). Создавались три режима снежного покрова: 1) естественный 10—20 см, 2) избыточный до 60—70 см, 3) бесснежный от 0 до 2 см. Ежедневно измерялась минимальная температура на глубине узла кущения с помощью дистанционных термометров АМ-17, высота снежного покрова и глубина промерзания почвы. Зимой определялось состояние конуса нарастания и проводилось отращивание в теплице с последующей проверкой конусов нарастания. Одновременно исследовались образцы

пшеницы и ржи из разных районов СССР: в декабре, январе, феврале и в первой половине марта. Сведения о состоянии посевов обрабатывались и сопоставлялись с агрометеорологическими условиями зимовки, результатами отращивания и весеннего обследования посевов.

Зима 1970/71 г. на Европейской части СССР была необычной. Снежный покров в северной половине территории (севернее Вильнюса, Брянска, Саратова, Уральска) установился очень рано — в третьей декаде октября. Почва под ним была талой или слабо

промерзшей. Во второй декаде ноября в результате очень теплой погоды снежный покров везде, кроме северо-восточных областей и Урала, сошел, почва оттаяла. Небольшой снежный покров (2—5 см) удерживался на полях в большинстве западных и центральных областей в течение всей зимы. Минимальная температура на глубине узла кущения колебалась от 0 до -10°C .

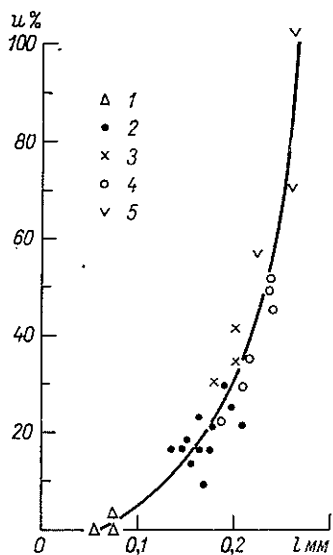


Рис. 7. Зависимость между изреженностью (%) озимой пшеницы сорта Мироновская 808 в результате действия морозов и ледяной корки и длиной (мм) конуса нарастания.

Толщина ледяной корки: 1) 0 мм, 2) 10—20 мм, 3) 21—40 мм, 4) 41—60 мм, 5) минимальная температура почвы на глубине узла кущения -15 , -17°C ; $\lg u = 1,5277 \lg l + 0,3694 \lg m + 2,0360$.

Интенсивный рост конуса нарастания в октябре уже с осени привел к снижению морозостойкости. Сопоставление размеров конуса нарастания главных побегов растений с агрометеорологическими условиями перезимовки озимых культур показало, что они имеют большое влияние на изменение размеров конуса нарастания зимой [18].

У растений оптимальных сроков сева, как видно на рис. 8, длина конуса нарастания 20 февраля имела достаточно хорошо выраженную прямолинейную зависимость от минимальной температуры почвы на глубине узла кущения t_3 и глубины промерзания почвы H . Коэффициент корреляции между размерами конуса нарастания и глубиной промерзания почвы был равен $0,74 \pm 0,03$.

Аналитически зависимость между длиной конуса нарастания l главного побега нормально раскустившихся осенью растений, минимальной температурой почвы на глубине узла кущения t_3 и глубиной промерзания почвы H на 20 февраля, по данным зимы

1970/71 г., выражена следующими уравнениями множественной регрессии:

для озимой ржи Вятка

$$t = 0,025t_3 - 0,006H + 1,377, \quad (2)$$

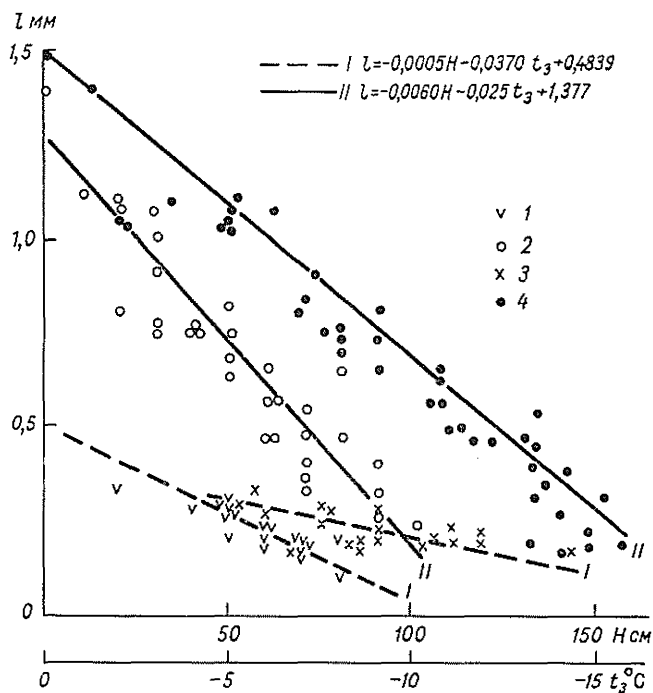


Рис. 8. Зависимость длины конуса нарастания l от минимальной температуры почвы на глубине узла кушения t_3 и глубины промерзания почвы H на 20 февраля.

1, 3 — озимая пшеница; 2, 4 — озимая рожь.

для озимой пшеницы сорта Мироновская 808

$$l = 0,0370t_3 - 0,0005H + 0,4839. \quad (3)$$

Коэффициенты множественной корреляции соответственно равны $0,94 \pm 0,01$ и $0,91 \pm 0,02$; средние квадратические ошибки уравнения m равны $\pm 0,013$ и $0,028$ мм. Уравнения действительны при минимальных температурах почвы на глубине узла кушения $0, -10^\circ\text{C}$ и глубине промерзания почвы $0-150$ см.

Как видно из уравнений и кривых на рис. 8, чем выше минимальная температура почвы и меньше глубина промерзания почвы,

тем у нормально развитых осенью растений больше длина конуса нарастания.

Анализ весеннего обследования посевов, с которых брались образцы растений, подтвердил, что интенсивный рост конуса нарастания осенью и зимой снижает морозостойкость растений. Изреженность озимой пшеницы и озимой ржи оказалась значительно выше там, где размеры конуса нарастания были значительно больше обычных.

Морозостойкость пшеницы, по данным наблюдений метеорологических станций зимой 1970/71 г., расположенных в центральных и восточных областях Европейской части СССР, коррелирует с длиной конуса нарастания. Коэффициент корреляции между изреженностью и размерами конуса на 20 февраля был равен 0,71 [18].

Исходя из данных об обратной зависимости между интенсивностью ростовых процессов и степенью стойкости растений, особое внимание в эксперименте с озимой пшеницей Мироновская 808 было обращено на анализ данных длины конуса нарастания и связи этого показателя со степенью изреженности растений. Из табл. 26 видно, что и здесь эта зависимость четко подтвердилась.

Таблица 26

Изреженность (%) растений Мироновская 808
в зависимости от длины конуса нарастания при разных
сроках сева и высоте снежного покрова

Сроки сева	Снежный покров			
	естественный		избыточный	
	h конуса (мм)	% изре- женности	h конуса (мм)	% изре- женности
29 VII	0,9	62	1,1	73
11 VIII	0,6	60	1,0	84
25 VIII	0,5	50	0,7	64
3 IX	0,4	30	0,5	45
18 IX	0,3	0	0,3	10

Аналогичные данные были получены и на других сортах. При этом у скороспелых, менее зимостойких сортов (Безостая 1, Аврора, Ранняя 12, Сан-Пасторе), особенно при ранних сроках сева, имел место более интенсивный рост конусов нарастания и соответственно значительно большая гибель растений.

Таким образом, полученные в эксперименте данные и результаты анализа массовых наблюдений за состоянием озимой пшеницы и озимой ржи на метеорологических станциях свидетельствовали о том, что зимостойкость озимых пшениц как в условиях нор-

мального, так и избыточного снежного покрова наряду с другими физиолого-биохимическими процессами зависит и от состояния конуса нарастания. Полученные количественные зависимости изреженности посевов от вредного действия неблагоприятных условий зимовки подтвердили большое значение ростовых процессов в период осени и зимы и величины конуса нарастания, которая в свою очередь определяется сроками сева и агрометеорологическими условиями осенне-зимнего периода.

Возникает вопрос: всегда ли, во все ли годы усиленный рост конуса нарастания при затяжной теплой осени во время длительных оттепелей приводит растения к гибели?



Рис. 9. Первый тип роста конуса нарастания озимой пшеницы.

а) в начале осенней вегетации — I этап органогенеза; б) перед уходом в зиму — II этап органогенеза; в) в начале весенней вегетации — переход растений к III этапу органогенеза.

Как показали наши исследования, в этих случаях следует различать, с одной стороны, типы роста конуса нарастания и агрометеорологические условия, в которых проходят процессы роста конусов нарастания, с другой стороны, температурные условия во вторую половину зимы и ранней весной. Анализ конусов нарастания показал, что можно различать четыре типа осенне-зимнего роста конуса нарастания озимых культур.

Первый тип роста конуса нарастания осенью и зимой (рис. 9) наиболее распространен во всех районах, где возделываются озимые культуры. Во все годы до наступления устойчивых температур на глубине залегания узла кушения ниже -5°C рост конуса нарастания осенью идет по первому типу. Чем длительнее период положительных температур, тем больше величина конуса нарастания. При этом в большинстве лет рост конуса проходит на II этапе органогенеза и измеряется вначале миллиметрами, а затем долями миллиметра. Во вторую половину зимы при температурах на глубине узла кушения, близких к -5 , -10°C , рост конуса нарастания, хотя незначительный и замедленный, продолжается почти до весны. Если растения не подвергались за зимний или ранневесенний период действию критических для сорта температур, то обычно

весной с переходом средней суточной температуры через $+3$, $+5^{\circ}\text{C}$ конус нарастания очень быстро переходит к III—IV этапам органогенеза, дифференцируются зачаточные колоски и растения нормально развиваются в соответствии с агротехникой посевов и ходом весенне-летних метеорологических условий.

Незначительный рост конусов нарастания по первому типу в пределах II этапа органогенеза — явление широко распространенное, особенно во вторую половину зимы. Как показали исследования В. В. Виноградовой, в этот период резко снижается содержание ингибиторов роста в узлах кушения. Первый тип роста,

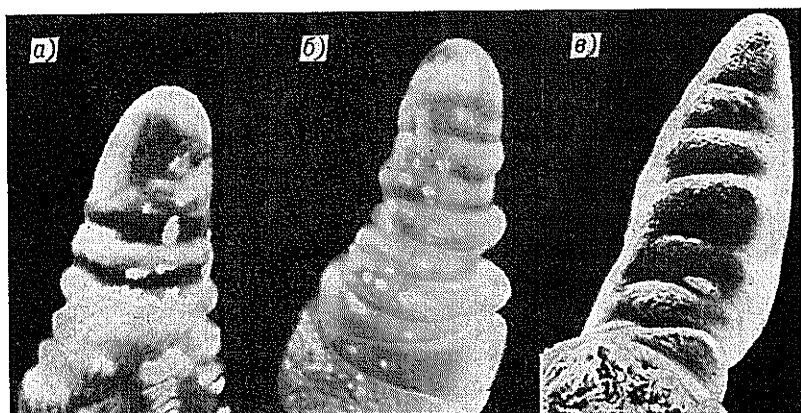


Рис. 10. Второй тип роста конуса нарастания озимой пшеницы.

а) в начале осенней вегетации — I этап органогенеза; б) в феврале, под глубоким снежным покровом; в) в начале весенней вегетации — переход растений к III этапу органогенеза.

почти как правило, не является фактором, вызывающим изреживание или гибель озимых культур.

Второй тип роста конуса нарастания (рис. 10) характерен для условий теплой затяжной осени. Он обычно имеет место при очень ранних сроках сева на хорошо удобренных паровых полях, особенно у сортов, у которых вегетирующие растения быстро проходят яровизационные процессы при сравнительно высоких температурах воздуха и почвы на глубине узла кушения. В таких случаях идет не только усиленный рост конуса нарастания на II этапе органогенеза; у растений, у которых завершаются яровизационные процессы, отмечается переход к III этапу, а в отдельные годы и к началу IV этапа органогенеза. Такие факты неоднократно отмечались нами на сортоучастках Краснодарского края, Ростовской, Одесской, Херсонской, Крымской областей, в Дагестанской, Кабар-

дино-Балкарской АССР, а в отдельные годы в Винницкой, Полтавской, Харьковской областях. О таких же фактах перехода растений к IV этапу органогенеза осенью 1974 г. в условиях Воронежской области сообщали агрометеоролог Н. Г. Колесникова, физиологи Мироновского научно-исследовательского института селекции и семеноводства пшеницы И. В. Мороз и Н. А. Крышевич. В опытах Лаборатории биологии развития растений осенью на посевах озимой пшеницы Безостая 1, Одесская 51 ранних сроков в массовом количестве наблюдался переход к III—IV этапам органогенеза.

Если температуры в зимний период и ранней весной не достигают уровня критических и вымерзание озимых не отмечается, то растения, перезимовавшие в состоянии III—IV этапов, ранней весной формируют крупный колос с увеличенным числом многоцветковых колосков. В такие годы ранние посевы озимых в условиях хорошей агротехники реализуют в значительной степени потенциальную продуктивность сорта, и урожаи озимой пшеницы, особенно озимой ржи, бывают высокими, рекордными.

Однако если вслед за продолжительной теплой осенью до выпадения снега наступает резкое снижение температуры воздуха, почва быстро и глубоко промерзает, температура на глубине узлов кущения и в зоне расположения конусов нарастания (над узлом кущения) опускается ниже критической, то главные побеги и даже целые растения погибают. Растения на III—IV этапах органогенеза обычно плохо закалены и для них критические температуры значительно выше (на 2—3°C и более), чем для хорошо закаленных растений, находящихся на II этапе органогенеза. Поэтому если в посевах с осени появляются растения, у которых рост идет по так называемому второму типу, то поля с такими растениями необходимо держать под неослабным вниманием, особенно если минимальные температуры в почве на глубине узла кущения приближаются к критическим.

Третий тип роста конуса нарастания (рис. 11) чаще наблюдается и главным образом в зимний период в те годы, когда снег рано ложится на талую или слабо промерзшую почву. Под глубоким снежным покровом длительное время температура сохраняется на уровне 0, $\pm 2^\circ\text{C}$. В этих условиях в темноте конус нарастания усиленно растет в длину, однако не переходит к III этапу органогенеза. Наблюдается значительное вытягивание в длину конуса нарастания, так называемый недифференцированный рост конуса на II этапе органогенеза, как бы процесс израстания конуса нарастания. Длина таких конусов нередко в 2—3 раза превышает нормальную (рис. 12).

Такого рода рост конусов наблюдается при явлениях выпревания растений. При этом они погибают нередко во вторую половину зимы от голодания в условиях длительного снежного покрова, чаще же ранней весной, когда, будучи не в состоянии перейти

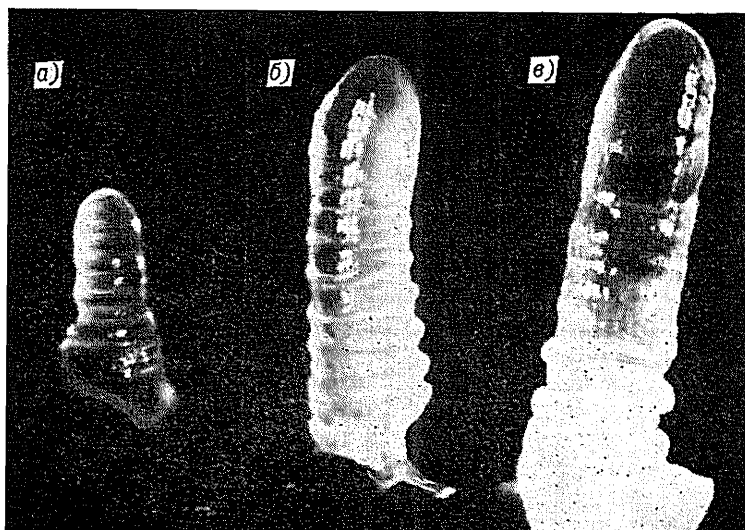


Рис. 11. Третий тип роста конуса нарастания озимой пшеницы.

а) в начале зимы после выпадения снега на талую почву на II этапе органогенеза; б) в середине зимы — под глубоким снежным покровом на II этапе органогенеза; в) перед сходом снега — в конце зимы «израстание» недифференцированного конуса нарастания.

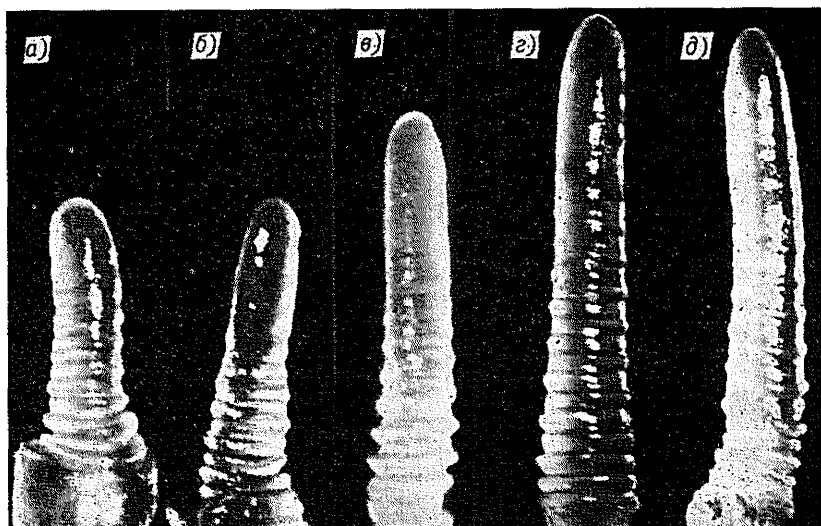


Рис. 12. Третий тип роста конуса нарастания озимой ржи.

а, б) в конце продолжительной осенней вегетации — усиленное формирование листовых валиков, II этап органогенеза; в) в феврале под глубоким снежным покровом; г, д) в начале весенней вегетации — II этап органогенеза — «израстание» недифференцированного конуса нарастания.

к III этапу органогенеза, они в первую очередь подвергаются нападению грибов, переходящих из сапрофитов в паразитирующую форму. Нередко такие побеги ослабляют все растение и резко снижают их устойчивость к морозам. В результате растения погибают при даже сравнительно не очень сильных возвратах морозов ранней весной.

Недифференцированный рост озимых растений, впервые отмеченный Ф. М. Куперман еще в 1951—1954 гг. и затем неоднократно

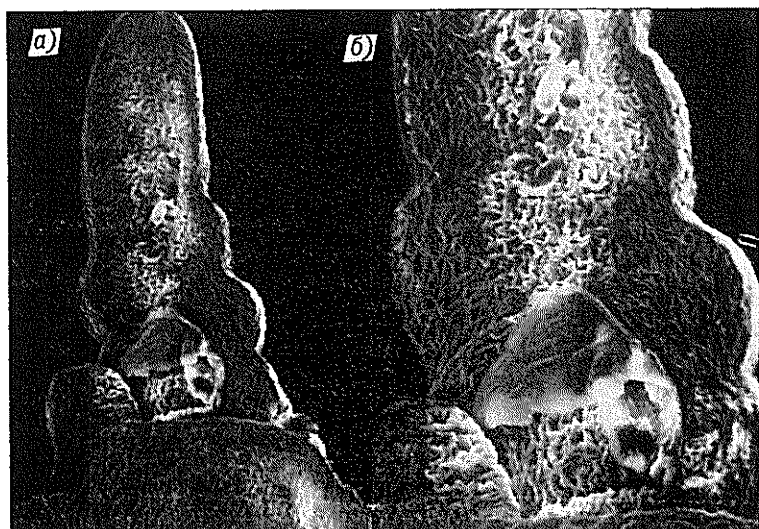


Рис. 13. Четвертый тип роста конуса нарастания озимой пшеницы Мироновская 808.

а) конус нарастания главного побега (IV этап) и «резервные» конуса нарастания (I этап) в начале весенней вегетации; б) основание конуса нарастания и «резервные» почки.

наблюдаемый Ф. М. Куперман, В. А. Моисейчик, М. С. Быковой [10], является одной из ведущих причин (наряду с углеводным истощением и нарушением белкового обмена) гибели озимых посевов при выпревании. Выпревание особенно часто наблюдается на посевах ранних сроков, чаще у озимой ржи, конуса нарастания которой могут расти при более низкой температуре по сравнению с озимой пшеницей.

Четвертый тип роста конуса нарастания (рис. 13) обнаружен нами у озимой пшеницы Мироновская 808. Он резко отличается от всех выше описанных типов. Известно, что у большинства исследованных сортов озимых пшениц, таких, как Кооператорка, Безостая 1, Кавказ, Ульяновка, Одесская 51, Прибой, пшенично-

пырейный гибрид 186 и других, побеги, выходящие из узлов кущения, образуют каждый один конус нарастания, последовательно формирующийся в колос. Точки роста побегов второго порядка в пазухах зачаточных листьев (листовых валиках) у большинства сортов озимых пшениц отмирают в начале II этапа органогенеза, и, таким образом, формируется побег со специфическим для злаков строением стебля — соломиной. Ветвление у большинства озимых культур осуществляется только в нижних подземных узлах, в так называемой зоне кущения. При повреждении (по разным причинам) конуса нарастания побег, лишенный нормального конуса нарастания, на IV—V этапах отмирает. У сорта Мироновская 808, а также некоторых сортов, полученных путем гибридизации с Мироновской 808, в пазухах листовых валиков при переходе побегов ко II этапу органогенеза закладываются точки роста второго порядка. К концу осенней вегетации из них формируются четко выраженные конуса нарастания, находящиеся на I этапе органогенеза, или, как определяет их Ф. М. Куперман, «резервные почки» (рис. 13). Значительное содержание ингибиторов роста в конусах нарастания Мироновской 808 приводит к тому, что у конусов нарастания рано замедляется рост и часто при температурах на глубине залегания узла кущения —8, —10°C практически приостанавливается. Замедленным ростом конусов нарастания по сравнению с Безостой 1, Авророй и Одесской 51 характеризуется Мироновская 808 и при температурах, близких к 0, $\pm 2^\circ\text{C}$. Этим объясняется комплексная морозостойкость этого сорта, устойчивого как к низким температурам, так и к избыточному снежному покрову.

Замедление и затем почти полная приостановка роста терминального конуса нарастания приводит к активации роста боковых резервных почек, которые выходят осенью из состояния покоя и зимуют на I этапе органогенеза. Расположены они, как это видно на фотографии (рис. 13), полученной А. С. Ярошевской на сканирующем электронном микроскопе, у основания конусов нарастания осенних побегов. Осенью и зимой они крайне медленно растут, так же как и у растений очень поздних сроков сева, и в то же время, в отличие от спящих почек узла кущения, у них проходят яровизационные процессы.

Таким образом, в одном растении, на одних и тех же побегах сочетаются конуса нарастания разной морозостойкости. В годы, когда конуса нарастания осенних побегов нормально зимуют, они рано переходят к дифференциации зачаточного колоса и формируют колосья высокой продуктивности. В такие годы конуса нарастания «резервных почек», отстающие более чем на два этапа, при переходе верхушечного конуса нарастания к V этапу органогенеза отмирают, не образуя подгона. В годы же, когда верхушечные конуса нарастания осенних побегов повреждены морозами, или

«израстают» при длительном избыточном снежном покрове, конуса нарастания «резервных» почек быстро развиваются в продуктивные побеги и восстанавливают изреженный зимой стеблестой. Эти побеги из конусов нарастания хотя и дают, как и поздние посевы, несколько меньший урожай, однако благодаря особым свойствам роста конусов нарастания, восстанавливая продуктивный стеблестой, не требуют посева или подсева и подавляют весенние всходы сорных растений.

Открытие четырех типов роста конусов нарастания в осенний, зимний и ранневесенний периоды позволило уточнить существенные различия в характере повреждений и гибели растений при явлениях вымерзания и выпревания.

При выпревании, как отмечает В. А. Моисейчик [22], имеет место высокая температура почвы на глубине узла кущения, раннее установление мощного снежного покрова и большая его высота, неглубокое промерзание почвы. Все эти условия способствуют проявлению третьего типа роста конусов нарастания, характеризуемого недифференцированным вытягиванием, «израстанием» на II этапе органогенеза. Выпревание — процесс длительный; усиленный рост конусов нарастания, так же как гибель озимых, происходит, если неблагоприятные условия сохраняются не менее 80—100 дней.

Вымерзание растений наблюдается, наоборот, при низкой температуре почвы, отсутствии снежного покрова или небольшой его высоте и глубоком промерзании почвы. Рост конусов нарастания очень замедленный, чаще всего в этих условиях имеет место первый тип роста. Повреждение клеток низкими температурами, разрывы тканей приводят к быстрому отмиранию конусов нарастания. После перехода средних температур через 0°C отмершие ткани конусов нарастания мацерируются (рис. 14), поврежденные морозами растения нередко подвергаются нападению грибов — снежной плесени, склеротинии и др.

Вымерзание, в отличие от выпревания, — чаще всего явление кратковременное, гибель растений происходит в течение 1—3 суток. Действие низких температур особенно опасно для посевов, у которых уже с осени отмечается второй тип роста (рис. 15). Вымерзание таких посевов происходит при сравнительно небольших морозах. Для таких посевов особенно опасна смена длительных оттепелей морозами, что часто имеет место в южных степных районах Украины и нередко в центральных нечерноземных районах. Гибель озимых наблюдается во второй половине февраля, в начале марта.

В центральных районах нечерноземной зоны повреждения и гибель посевов озимой пшеницы вызываются сложным комплексом неблагоприятных факторов погоды (рис. 16). Низкие температуры в декабре—январе при почти полном бесснежье или небольшом

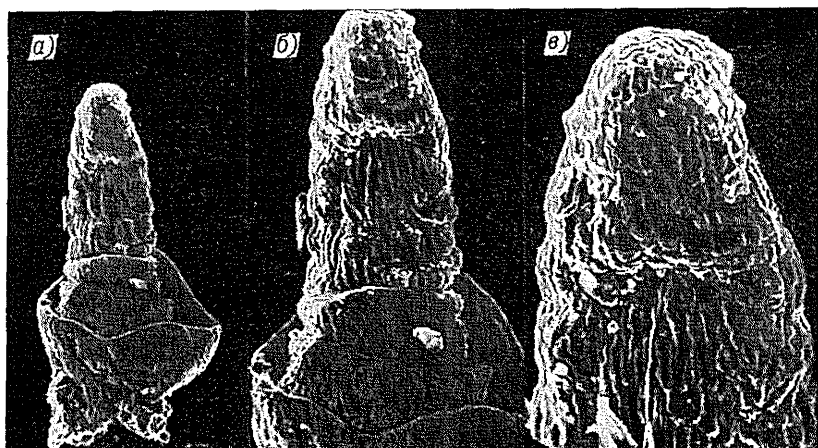


Рис. 14. Отмирание поврежденных зимой конусов нарастания озимой пшеницы и мацерация тканей.

а, б) конус нарастания при разном увеличении; в) верхушка конуса нарастания (микрофотосканирующий электронный микроскоп, $\times 666$).

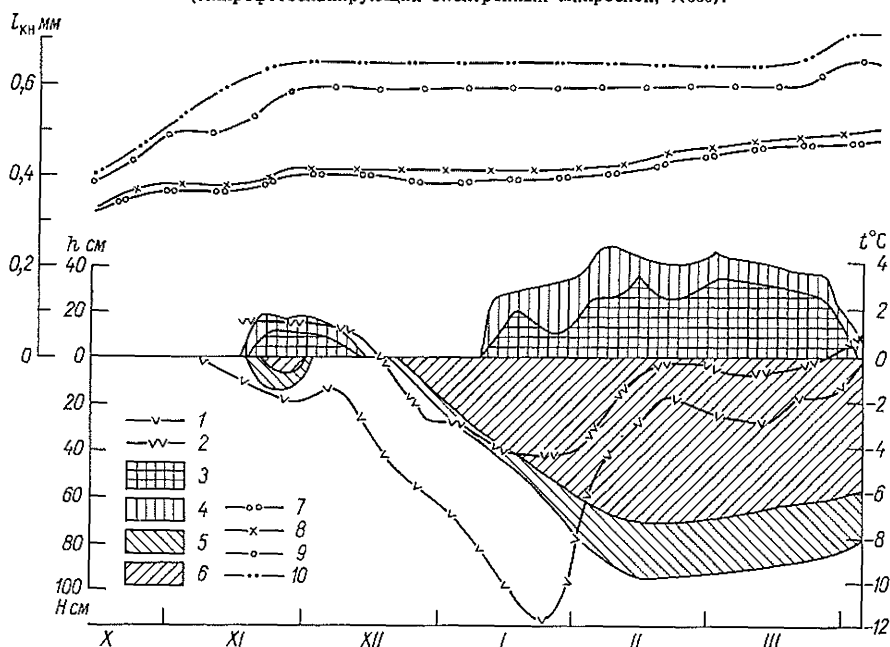


Рис. 15. Динамика роста конуса нарастания озимых пшениц при оптимальном сроке сева в условиях естественного снежного покрова 1972/73 г. МГУ.

Температура почвы на глубине залегания узла кушения под снежным покровом: 1 — «естественным», 2 — «избыточным»; высота снежного покрова: 3 — «естественного», 4 — «избыточного»; глубина промерзания почвы под снежным покровом: 5 — «естественным», 6 — «избыточным». Сорты: 7 — Ульяновка, 8 — Мироновская 808, 9 — Одесская 51, 10 — Безостая 2. L_{kh} — длина конуса (мм); h — высота снежного покрова (см); H — глубина промерзания (см).

снежном покрове могут служить причиной вымерзания растений. И наоборот, раннее выпадение снега еще в октябре и длительный избыточный снежный покров на почти такой почве (что особенно часто имеет место в северо-восточных районах ЕТС) могут привести к выпреванию посевов.

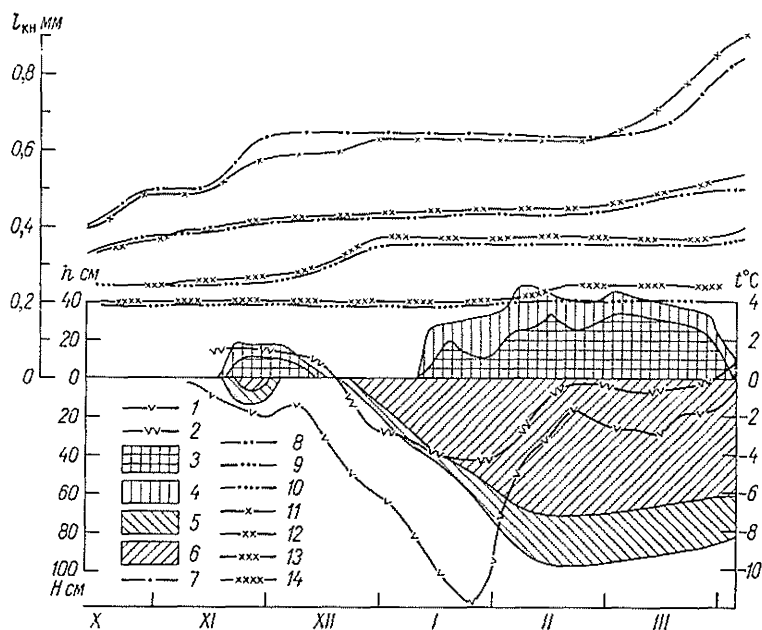


Рис. 16. Динамика роста конуса нарастания озимой пшеницы Мироновская 808 при первом — четвертом сроках сева и разной высоте снежного покрова (зима 1972/73 г.). МГУ.

Усл. обозначения l_{kh} , h и H , а также 1—6 см. рис. 15. «Естественный» снежный покров: 7 — первый срок сева 10 августа, 8 — второй срок сева 25 августа, 9 — третий срок сева 5 сентября, 10 — четвертый срок сева 20 сентября. «Избыточный» снежный покров: 11 — первый срок сева 10 августа, 12 — второй срок сева 25 августа, 13 — третий срок сева 5 сентября, 14 — четвертый срок сева 20 сентября.

В условиях Рязанской, Калининской, Новгородской, Московской и смежных областей нередки зимние оттепели с осадками в виде дождя и мокрого снега; при наступлении морозов они ведут к образованию ледяной корки. В нечерноземной зоне, особенно на южной ее границе, хотя и редко, однако наблюдались случаи раннего схода снега (в начале марта) с последующим возвратом кратковременных, но сильных морозов.

В отдельные годы (такие, например, как зимы 1973/74 и 1974/75 гг.) снега на полях бывает очень мало в центральных

черноземных областях и озимые зимуют при температурах $0 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Недостаток тепла ограничивает фотосинтез и дифференциацию конуса нарастания. В то же время конуса вытягиваются, «израстают». Растения с такими конусами ранней весной поражаются корневыми гнилями.

В центральных районах нечерноземной зоны в отдельные периоды зимовки растений можно наблюдать действие не только отдельных факторов, но и целого комплекса. Многообразие факторов, вызывающих повреждения и гибель озимых посевов, определило в этой зоне поиски сортов, которые бы обладали комплексной устойчивостью к низким температурам, близким к критическим, (и у которых рост конусов нарастания в основном шел бы по первому типу), а также к температурам около $0 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

В целях формирования максимальной зимостойкости в этой зоне важно иметь сорта с первым типом роста при большой амплитуде температур от 0 до -8°C . Однако большинство сортов, ранее районированных в этой зоне, характеризовалось третьим и вторым типами роста. Важно было выяснить, каким сортам присущ тот или иной тип роста, какова динамика роста конуса нарастания при разных условиях перезимовки.

Учитывая многообразие комплексов неблагоприятных условий перезимовки, Лабораторией биологии развития растений совместно с Гидрометцентром СССР в течение 1970—1975 гг. [8—10, 16—22] проводились морфофизиологические исследования зимостойкости озимых культур одновременно на разных фонах, главными из которых были: а) естественный снежный покров, высота которого обычно колебалась от 10 до 25 см; б) избыточный снежный покров высотой 50—60 см и выше; в) так называемое бесснежье, или точнее малоснежье со снежным покровом не выше 1—3 см. Во все годы посев проводился в четыре срока; первый, ранний — 5—10 августа; второй, оптимальный для Московской области — 20—25 августа; третий, среднепоздний — 5 сентября и четвертый, очень поздний для этих районов — 20—25 сентября. На всех фонах испытывались районированные в СССР сорта, а также ряд перспективных новых сортов озимой пшеницы: Ульяновка, Мироновская 808, Безостая 1, Безостая 2, Мироновская юбилейная, Одесская 51, Прибой, Аврора, ППГ-186, озимая рожь Вятка и Харьковская 60 [10].

На всех вариантах опытов термометрами АМ-17 измерялись минимальные, максимальные и срочные температуры почвы на глубине залегания узлов кущения; мерзлотомерами, установленными на площадках с разной высотой снежного покрова, измерялась глубина промерзания почвы, снегомерными рейками определялась высота и выровненность снежного покрова на делянках. Остальные необходимые метеорологические данные (температура воздуха, осадки, число часов солнечного сияния, влажность почвы

и другие) получали в Обсерватории географического факультета Московского государственного университета, расположенной в 50 м от экспериментального участка Лаборатории биологии развития растений.

Осенью и весной на всех деланках проводился учет числа растений и побегов.

В течение всего осенне-зимне-весеннего периода через 10—15 дней с помощью компрессора с отбойной лопатой-молотком брались образцы по 25—50 растений с каждого варианта опыта. Они подвергались детальному морфофизиологическому анализу, при этом учитывались состояние и размеры конусов нарастания, узлов кущения и листьев. В теплице проверялась жизнеспособность растений. Для этого в вегетационных сосудах растения (по 5—10 из каждого образца) доводились до фазы колошения и цветения. При этом в теплице систематически проводились наблюдения за прохождением II—IX этапов органогенеза.

Основное внимание в последние годы было уделено анализу ростовых процессов конуса нарастания в условиях разных температур, складывающихся в осенне-зимне-весенний период и выявлению (с помощью микрофотонасадки на бинокулярной лупе МБС-1, а также на сканирующем электронном микроскопе типа «Хитачи 11-Б» при разном увеличении — от $\times 70$ до $\times 1600$) различий в типах повреждений при вымерзании и при выпревании.

Наибольший интерес в исследованиях явлений зимостойкости представляли данные наблюдений за динамикой роста конуса нарастания. Впервые при разной высоте снежного покрова и создаваемых в связи с этим разных минимальных и максимальных температурах на глубине залегания узла кущения и разной глубине промерзания почвы проводились систематические наблюдения. Во-первых, это были наблюдения над одновозрастными растениями, посеянными в одни и те же сроки, на одном и том же участке, в одинаковых почвенных условиях; во-вторых, это были одновременные параллельные наблюдения над разновозрастными растениями при интервалах в сроках сева 15—20 дней, начиная от очень ранних и кончая почти сверхпоздними (20 сентября), для условий нечерноземной зоны. И наконец, что тоже существенно, впервые исследовались не только районированные и перспективные для нечерноземной зоны сорта Ульяновка, ППГ-186, ППГ-599, Мионовская 808, Мионовская юбилейная, но и сорта, взятые в качестве индикаторов слабой зимостойкости, районированные в южных областях СССР,—Безостая 1, Безостая 2, Аврора и другие, а также полуозимый сорт Сан-Пасторе.

В течение всего осенне-зимне-весеннего периода озимые растения подвергались детальному морфофизиологическому анализу. Определялся коэффициент кущения, число побегов на разных этапах органогенеза, число листьев на каждом побеге, длина и

Таблица 27
Оценка состояния листьев (А) и конусов нарастания (Б) растений
в осенне-зимне-весенний период

Листья		Процент растений, имеющих данный балл	Общий балл
описание	оценка (балл)		
1	2	3	4
А			
Листья зеленые	5	100	$\frac{5 \cdot 100}{100} = \frac{500}{100} = 5,0$
Желто-зеленые	5	75	$\frac{(5 \cdot 75) + (4 \cdot 25)}{100} = \frac{475}{100} = 4,8$
	4	25	
Зеленые	5	50	$\frac{(5 \cdot 50) + (4 \cdot 50)}{100} = \frac{450}{100} = 4,5$
Желто-зеленые	4	50	
Желтые	4	100	$\frac{4 \cdot 100}{100} = \frac{400}{100} = 4,0$
	4	50	$\frac{(4 \cdot 50) + (3 \cdot 50)}{100} = \frac{350}{100} = 3,5$
	3	50	
	3	100	$\frac{3 \cdot 100}{100} = \frac{300}{100} = 3,0$
Бурые	3	25	$\frac{(3 \cdot 25) + (2 \cdot 75)}{100} = \frac{225}{100} = 2,3$
	2	75	
	2	100	$\frac{2 \cdot 100}{100} = \frac{200}{100} = 2,0$
Черно-бурые	1	100	$\frac{1 \cdot 100}{100} = \frac{100}{100} = 1,0$
Конус нарастания		Процент побегов с конусами данного балла	Оценка
состояние конуса	оценка (балл)		
5	6	7	8
Б			
Конус живой, тургорный, слегка опалесцирующий	5	100	$\frac{5 \cdot 100}{100} = \frac{500}{100} = 5,0$
То же	5	75	$\frac{(5 \cdot 75) + (3 \cdot 25)}{100} = \frac{450}{100} = 4,5$
Живой, белый, тургорный, мутный, неопалесцирующий	3	25	

Конус нарастания		Процент побегов с конусами данного балла	Оценка
состояние конуса	оценка (балл)		
5	6	7	8

Б

Живой, тургорный, опалесцирующий	5	50	$\frac{(5 \cdot 50) + (3 \cdot 50)}{100} = \frac{400}{100} = 4,0$
Живой, белый, тургорный, мутный, неопалесцирующий	3	50	
Живой, тургорный, белый, мутный, неопалесцирующий	3	100	$\frac{3 \cdot 100}{100} = \frac{300}{100} = 3,0$
То же	3	75	
Мертвый, бурый, сморщенный, мацерированный	1	25	$\frac{(3 \cdot 75) + (1 \cdot 25)}{100} = \frac{250}{100} = 2,5$
Живой, тургорный, белый, мутный, неопалесцирующий	3	50	
Мертвый, бурый, сморщенный, мацерированный	1	50	$\frac{(3 \cdot 50) + (1 \cdot 50)}{100} = \frac{200}{100} = 2,0$
Живой, тургорный, белый, мутный, неопалесцирующий	3	25	
Мертвый, бурый, сморщенный, мацерированный	1	75	$\frac{(3 \cdot 25) + (1 \cdot 75)}{100} = \frac{150}{100} = 1,5$
То же	1	100	$\frac{1 \cdot 100}{100} = \frac{100}{100} = 1,0$

ширина листьев, их состояние; по балловой оценке определялось состояние конусов нарастания, их длина, ширина, число листовых валиков на II этапе органогенеза и число сегментов, а в тех случаях, когда они переходили к III этапу, и число колосковых булгов на IV этапе органогенеза.

Для массовых образцов учет проводился по табл. 27 [9]. В течение зимнего периода при неблагоприятных условиях, как правило, в первую очередь повреждаются листья. Степень повреждения их в значительной мере определяет состояние растений в весенне-летний период. В тех случаях, когда листья не повреждены (зеленые или частично желто-зеленые), у растений после схода снежного покрова и повышения температуры воздуха до положительных значений начинается фотосинтез. Развитие таких растений весной проходит нормально. Состояние листьев этих растений оценивается баллами 5 и 4.

Если зимой и весной все листья или большая их часть желтые и конусы нарастания живые, то для появления новых ассимилирующих листьев после возобновления вегетации необходим некоторый период времени, в результате чего рост и развитие растений задерживаются и урожай несколько снижается. При таком состоянии листья озимых оцениваются баллом 3.

Растения, у которых листья зимой и весной бурые, оцениваются баллом 2, черно-бурые — баллом 1. В большинстве таких случаев имеет место также повреждение конусов нарастания, узлов кущения и изреженность или полная гибель растений.

В табл. 27 дана оценка состояния листьев растений при разной степени их повреждения неблагоприятными условиями зимовки. В ней учитывается не только цвет листьев, но и количество растений в процентах с разной степенью поврежденности листьев (табл. 27, графы 3 и 4).

Конусы нарастания обладают более высокой устойчивостью, чем листья, к тому же они в большинстве лет у озимых расположены в почве на глубине 1—3 см. От состояния конуса нарастания зависит жизнеспособность побега, рост и развитие зачаточного колоса, а следовательно, его продуктивность. Поэтому состояние конуса нарастания, как это было отмечено ранее, определяет состояние растений в целом в период перезимовки.

Состояние конусов нарастания в зависимости от степени их повреждения зимой можно определить следующим образом: 5 баллов — конус прозрачный, живой, тургорный, слегка опалесцирующий; 3 балла — конус живой, белый, тургорный, мутный, неопалесцирующий; 1 балл — конус мертвый, бурый, сморщенный, мацерированный. Состояние растений оценивается с учетом количества побегов (в процентах от их общего количества у анализируемых растений), имеющих в разной степени поврежденные конусы нарастания.

Показатели оценки состояния растений относятся главным образом к случаям повреждения озимых низкими температурами, ледяной коркой и вымоканием. При выпревании озимых учитывается количество растений с вытянутыми конусами нарастания, подвергшимися «израстанию». При этом определяется общая длина конуса нарастания, отдельно длина вытянутой, недифференцированной части конуса нарастания. Конус нарастания зарисовывается (если возможно, с помощью рисовального аппарата). Эти данные также заносятся в таблицы. Учет проводится по каждому побегу на типичных растениях. Степень отклонений от нормы, процент сильно вытянутых конусов нарастания определяются также баллами.

О том, как отражается разная высота снежного покрова на растениях одного и того же сорта при одном и том же оптимальном сроке сева (25 августа для Московской области), можно су-

дить по данным изменений длины конусов нарастания сорта Ульяновка (табл. 28). Так, под естественным снежным покровом и при бесснежье конуса нарастания к концу ноября 1972 г. достигли 0,40—0,46 мм, под избыточным снежным покровом, когда уже в начале ноября снег задержался на делянках, рост конуса нарастания продолжался и к началу декабря достиг 0,50—0,55 мм. Затем на всех вариантах с разным снежным покровом конус нарастания сохранялся неизменным, что характерно для первого типа роста. Следует отметить, что зимой 1972/73 г. больших различий между естественным и избыточным снежным покровом не было.

В этом же опыте очень четко прослеживается влияние сроков сева. Так, при очень раннем сроке сева 10 августа и естественном снежном покрове длина конуса нарастания к 25 декабря достигла 0,50 мм, при севе 25 августа — 0,46 мм; 5 сентября — 0,35 мм, при очень позднем сроке сева — 0,20 мм. При значительных различиях в длине конусов нарастания, определяемых высотой снежного покрова и сроками сева, они в течение зимнего периода очень незначительно увеличивались в размерах. Как видно из этих данных, для сорта Ульяновка характерен первый тип роста конуса нарастания в зимний период, что обуславливает в значительной степени высокую зимостойкость этого сорта, районированного в ряде областей, где нередко складываются условия, вызывающие явления вымерзания озимой пшеницы (см. рис. 15).

Аналогичная картина имела место в эту же зиму 1972/73 г. и на посевах озимой пшеницы Мироновская 808. В вариантах с разным снежным покровом конуса нарастания различались мало, а в вариантах с разными сроками сева — очень четко (см. рис. 16).

В эту же зиму 1972/73 г. при сравнительно оптимальных условиях перезимовки озимых (максимальные температуры на глубине узла кущения под естественным снежным покровом были в основном —2, —5°C и лишь на короткий срок понижались до —11, —12°C) все же можно было даже при первом типе роста озимых выявить различия в длине конусов нарастания у таких зимостойких сортов, какими для Подмосковья являются Ульяновка и Мироновская 808, и относительно менее зимостойких — Одесская 51 и особенно Безостая 2 (см. рис. 15).

Значительно большие сортовые различия отмечались зимой 1971/72 г. (рис. 17). Даже в условиях естественного снежного покрова под снегом продолжался хотя и незначительный, однако неуклонный рост конусов нарастания. При этом наименее интенсивно он шел у высокозимостойкого сорта Цезиум 39, у зимостойких сортов Ульяновка и Мироновская 808, несколько сильнее — у таких сортов, как Мироновская юбилейная, Безостая 2, Одесская 51, и наиболее заметный рост отмечен был у сорта Аврора. Интересно, что кривые роста разных по зимостойкости сортов располагались в полном соответствии с их морозостойкостью, что

Таблица 28

Динамика развития и роста озимой пшеницы сорта Ульяновка в осенний, зимний и весенний периоды 1972—1973 гг. при разных сроках сева и различных вариантах снежного покрова и температурного режима почвы на глубине залегания узла кущения (3 см)

Дата проведения биологического контроля	Естественный снежный покров 10—25 см											
	сроки сева											
	10 VIII			25 VIII			5 IX			20 IX		
	число побегов <i>n</i>	этап	длина колуса (мм)	число побегов <i>n</i>	этап	длина колуса (мм)	число побегов <i>n</i>	этап	длина колуса (мм)	число побегов <i>n</i>	этап	длина колуса (мм)
1972 г.												
16 X	5	II	0,50	4	II	0,32	3	II	0,25	1	I	0,20
30 X	6	II	0,50	5	II	0,40	3	II	0,30	1	I	0,20
13 XI	6	II	0,50	5	II	0,40	3	II	0,30	1	I	0,20
27 XI	6	II	0,50	5	II	0,46	3	II	0,35	1	I	0,20
11 XII	6	II	0,50	5	II	0,46	3	II	0,35	1	I	0,20
25 XII	6	II	0,50	5	II	0,46	3	II	0,35	1	I	0,20
1973 г.												
11 I	6	II	0,50	5	II	0,46	3	II	0,35	1	I	0,20
25 I	6	II	0,50	5	II	0,46	3	II	0,35	1	I	0,20
13 II	6	II	0,50	5	II	0,46	3	II	0,35	1	I	0,20
28 II	6	II	0,50	5	II	0,46	3	II	0,35	1	I	0,20
11 III	6	II	0,60	5	II	0,46	3	II	0,35	1	I	0,20
3 IV	7	II	0,62	5	II	0,50	3	II	0,35	1	I	0,20
12 IV	7	III	0,65	5	II	0,55	3	II	0,35	1	I	0,20

Дата проведе- ния биологи- ческого контроля	Избыточный снежный покров 50—60 см												Бесснежье (0—3 см)		
	сроки сева												25 VIII		
	10 VIII			25 VIII			5 IX			20 IX					
	число побе- гов <i>п</i>	этап	длина конуса (мм)	число побе- гов <i>п</i>	этап	длина конуса (мм)	число побе- гов <i>п</i>	этап	длина конуса (мм)	число побе- гов <i>п</i>	этап	длина конуса (мм)	число побе- гов <i>п</i>	этап	длина конуса (мм)
1972 г.															
16 X	5	II	0,50	5	II	0,32	3	II	0,25	1	I	0,20	5	II	0,32
30 X	6	II	0,50	5	II	0,40	3	II	0,30	1	I	0,20	5	II	0,40
13 XI	6	II	0,50	5	II	0,45	3	II	0,30	1	I	0,20	5	II	0,40
27 XI	6	II	0,50	5	II	0,46	3	II	0,35	1	I	0,20	5	II	0,40
11 XII	6	II	0,50	5	II	0,50	3	II	0,35	1	I	0,20	5	II	0,40
25 XII	6	II	0,55	5	II	0,55	3	II	0,35	1	I	0,20	5	II	0,40
1973 г.															
11 I	6	II	0,60	5	II	0,55	3	II	0,35	1	I	0,20	5	II	0,40
25 I	6	II	0,65	5	II	0,55	3	II	0,35	1	I	0,20	5	II	0,40
13 II	6	II	0,65	5	II	0,55	3	II	0,35	1	I	0,20	5	II	0,40
28 II	6	II	0,65	5	II	0,55	3	II	0,35	1	I	0,25	5	II	0,40
11 III	6	II	0,65	5	II	0,55	3	II	0,35	1	I	0,25	5	II	0,42
3 IV	7	II—III	0,68	5	II	0,58	3	II	0,35	1	I	0,25	5	II	0,45
12 IV	7	II—III	0,70	5	II	0,60	3	II	0,46	1	I	0,30	5	II	0,45

свидетельствует о наличии определенных корреляций между интенсивностью ростовых процессов и устойчивостью к низким температурам (зима 1971/72 г. была более холодной и снега было меньше, чем зимой 1972/73 г.).

Зимой 1970/71 г. снежный покров в варианте «избыточный» был значительно выше, чем в варианте «естественный». Минимальные температуры на глубине узла кущения при избыточном снежном

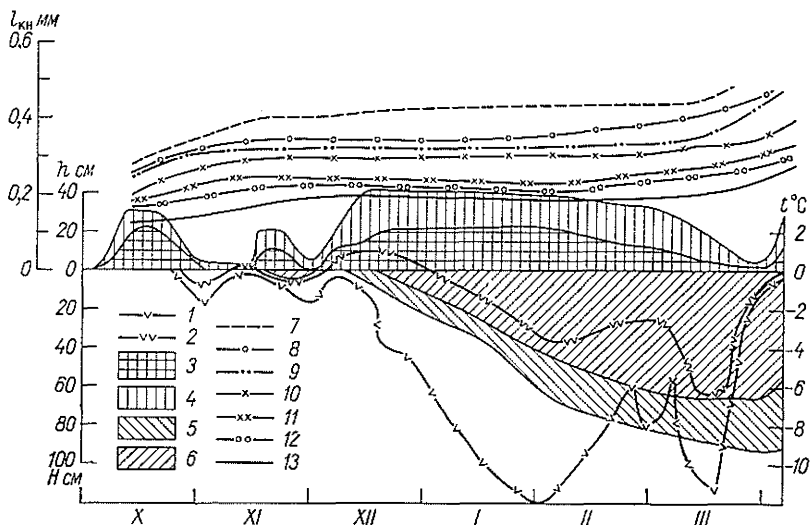


Рис. 17. Динамика роста конуса нарастания озимой пшеницы Ульяновка и новых сортов озимых пшениц в 1971—1972 гг. при оптимальном сроке сева в условиях «естественного» снежного покрова. МГУ.

Уел. обозначения I_{kn} , H и t см. рис. 15. 7 — Аврора, 8 — Одесская 51, 9 — Безостая 2, 10 — Мироновская юбилейная, 11 — Мироновская 808, 12 — Ульяновка, 13 — Цезиум 39.

покрове не опускались ниже -2°C . В эту зиму очень четко проявился третий тип роста конусов нарастания, особенно у слабозимостойких сортов, таких, как Сан-Пасторе, Аврора, Ранняя 12, Безостая 2 (рис. 18).

О том, как влияют ранние сроки сева на рост конусов нарастания слабозимостойких сортов озимых пшениц, можно судить по кривым роста конуса сорта Безостая 2. При раннем сроке сева даже в условиях естественного снежного покрова у конусов нарастания рост продолжался до декабря и возобновился уже во второй половине февраля, задолго до схода снега с делянок (рис. 19). Причем даже в условиях естественного снежного покрова рост конуса нарастания при раннем сроке сева был значительно больше, чем рост при третьем и четвертом сроках сева.

Зима 1973/74 г. была относительно теплой, снежный покров установился рано. В этих условиях даже у Мироновской 808 при раннем сроке сева отмечался почти непрерывный рост конуса нарастания, особенно во вторую половину зимы (рис. 20).

Еще нагляднее влияние условий зимы 1972/73 г. можно было проследить на сортах Одесская 51 и Безостая 1, испытывавшихся

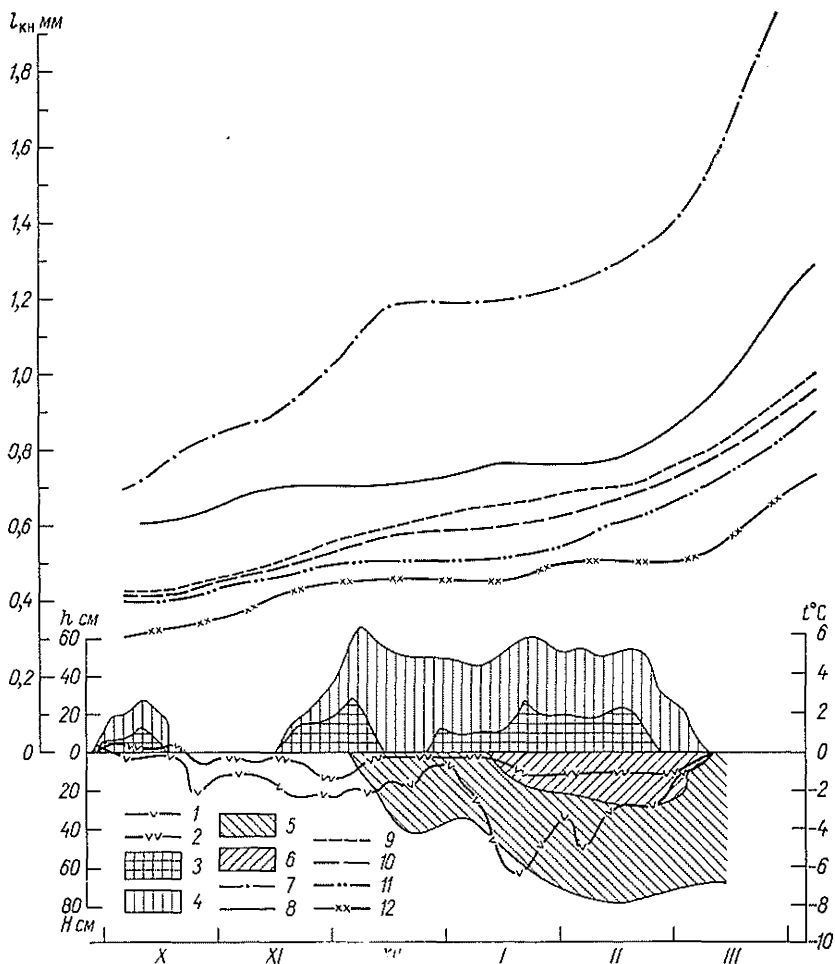


Рис. 18. Динамика роста конуса нарастания в зимний и ранневесенний периоды у озимых культур (озимой пшеницы и ржи разной зимостойкости) в 1970/71 г. при оптимальном сроке сева в условиях «избыточного» снежного покрова. МГУ.

Усл. обозначения l_{kh} , h , H и 1—6 см. рис. 15. 7 — Вятка, 8 — Сан-Пасторе, 9 — Аврора, 10 — Ранняя, 12, 11 — Безостая 2, 12 — Мироновская юбилейная.

в качестве сортов индикаторов. Как видно из рис. 21, 22, эти сорта, приспособленные для степных районов, непригодны для средней полосы ЕТС, так как относительно быстрый рост конусов нарастания в этих районах и недостаточная их зимостойкость приводят

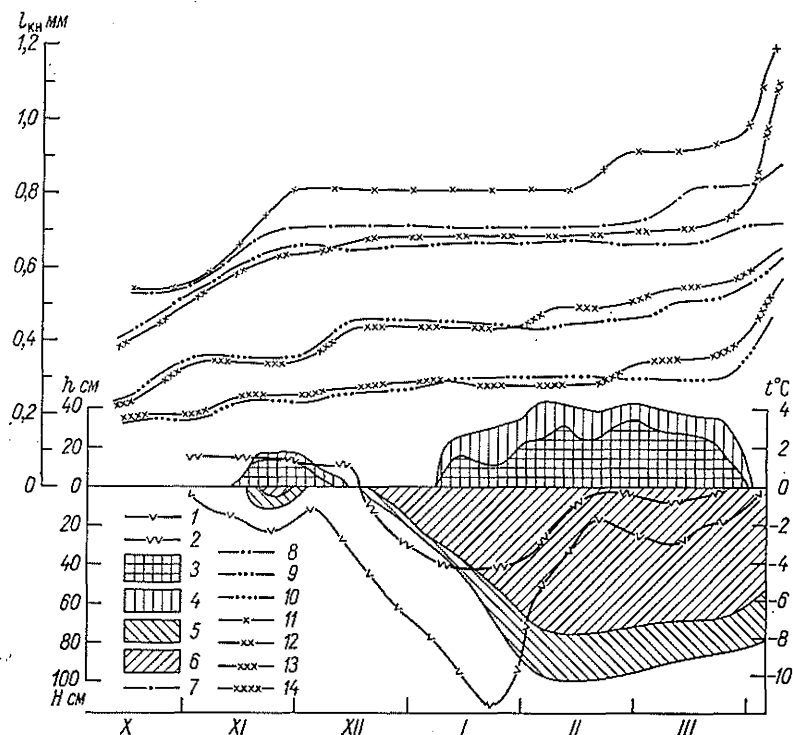


Рис. 19. Динамика роста конуса нарастания у озимой пшеницы Безостая 2 в условиях разного снежного покрова при первом—четвертом сроках сева (1972/73 г.). МГУ.

Усл. обозначения l_{kh} , h , H и $1-6$ см. рис. 15. «Естественный» снежный покров: 7 — первый срок сева, 8 — второй срок сева, 9 — третий срок сева, 10 — четвертый срок сева. «Избыточный» снежный покров: 11 — первый срок сева, 12 — второй срок сева, 13 — третий срок сева, 14 — четвертый срок сева.

в одних и тех же условиях опыта к значительно более сильным повреждениям по сравнению с Мироновской 808.

Примерно так же, как у Одесской 51, шел рост конуса нарастания у Безостой 1 в течение всей зимы (рис. 23) как в условиях естественного, так и избыточного снежного покрова. Эти данные еще раз подтверждают, что при выборе даже наиболее продуктивных в других зонах новых и перспективных сортов необходима де-

гальная проверка их в условиях разных зим, характерных для нечерноземной зоны.

Высокий темп роста сравнительно устойчивых для юга ЕТС сортов, какими являются Одесская 51 и Безостая 1, может в снежные зимы в условиях черноземной зоны привести к «израстанию» конусов нарастания под снегом в течение зимы и сильным повреждениям при возврате морозов в марте в годы с ранним сходом снежного покрова. В этих случаях особенно недопустимы слишком ранние сроки сева.

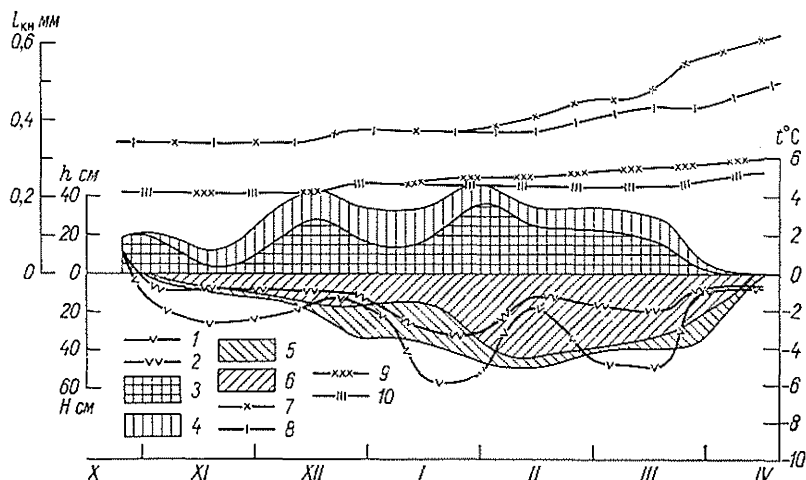


Рис. 20. Динамика роста конуса нарастания озимой пшеницы Мироновская 808 первого и третьего сроков сева при «естественном» и «избыточном» снежном покрове зимой 1973/74 г.

Усл. обозначения L_{KM} , h , H и 1—6 см. рис. 15. Первый срок сева: 7 — «избыточный» снежный покров, 8 — «естественный» снежный покров. Третий срок сева: 9 — «избыточный» снежный покров, 10 — «естественный» снежный покров.

Особый интерес представляют данные морфофизиологического анализа сорта озимой пшеницы Мироновская 808, который в самые последние годы районирован в центральных районах нечерноземной зоны. У растений этого сорта при разных сроках сева конус нарастания уже на II этапе органогенеза с осени и ранней весной несколько больше, чем у Ульяновки, однако они выходят из состояния покоя почти в одни сроки с Ульяновкой. Следовательно, по морозостойкости (учитывая выход из состояния покоя весной) сорт Мироновская 808 приближается к Ульяновке. У растений Мироновской 808 в условиях избыточного снежного покрова (при первом сроке сева) уже в конце февраля, начале марта наблюдался переход к III этапу, при этом растения даже во второй декаде апреля 1974 г. задерживались в развитии на III этапе и у них

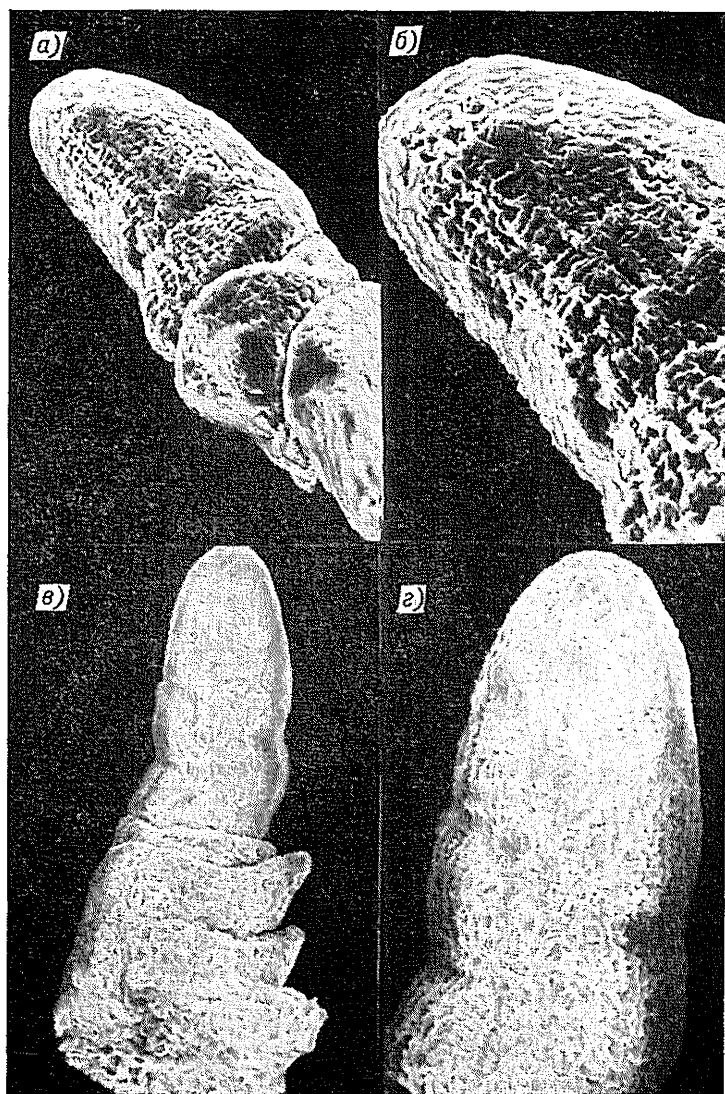


Рис. 21. Состояние конусов нарастания при недостаточном снежном покрове.

Конус нарастания сорта Безостая 1: а) $\times 234$, б) $\times 468$; конус нарастания сорта Одесская 51: в) $\times 200$, г) $\times 400$. 16 апреля 1973 г.

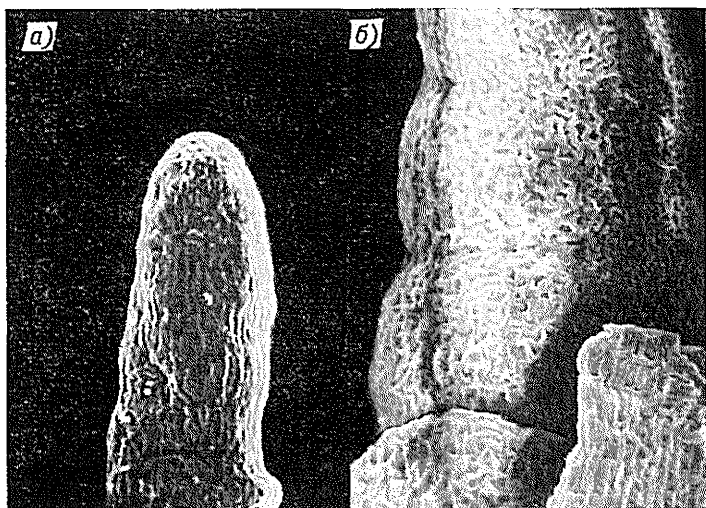


Рис. 22. Влияние сроков сева на состояние конусов нарастания озимой пшеницы Мироновская 808 в условиях избытка снега (высота около 60—70 см).

a — отмирание центральной части и основания конуса; *б* — глубокие продольные разрывы и отмирание тканей.

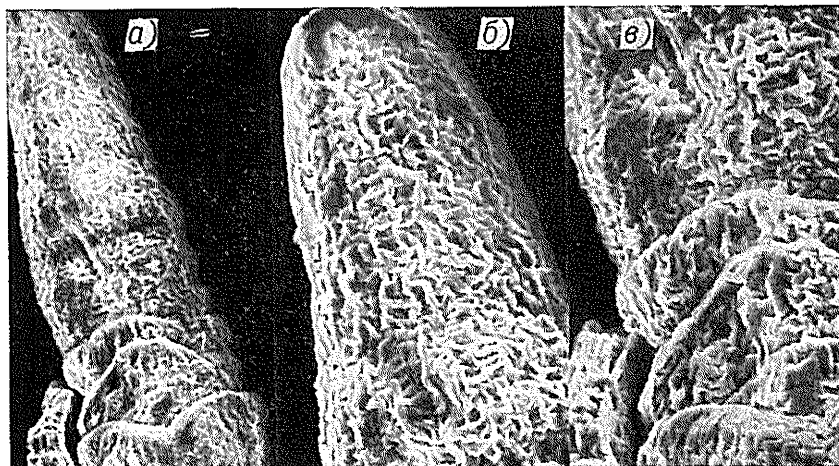


Рис. 23. Типы повреждений озимой пшеницы зимой 1972/73 г. (посев 25 августа). Сорт Безостая 1.

Поперечные и продольные трещины конуса нарастания при «естественном» снежном покрове: *a*) $\times 200$, *б*) $\times 400$; *в*) продольный разрыв конуса нарастания при бесснежье ($\times 400$). 16 апреля 1973 г.

продолжался метамерный рост сегментов, обуславливающих формирование в последующем крупного зачаточного колоса. Переход к IV этапу органогенеза наступал позже, когда возврат весенних холодов не наблюдался.

Таким образом, по состоянию конусов нарастания (уровню развития и темпам роста) Мироновская 808 очень близка к сорту Ульяновка. Однако из входящих в первую группу по морозостойкости сортов у растений Мироновской 808, как известно, имеется одна очень важная для продуктивности сорта особенность. А именно, в отличие от Ульяновки и других высокоморозостойких сортов, таких, как Лютесценс 329, Лютесценс 1060, растения Мироновской 808 способны не только сохранять живым узел кушения при критических температурах и гибели надземных побегов, но и развивать весной новые продуктивные побеги. Как уже отмечалось у Мироновской 808 осенью наблюдается четвертый тип роста конуса нарастания. Именно это свойство растений обеспечивает возможность при неблагоприятных условиях перезимовки получить урожай, близкий к среднему, тогда как посевы других сортов озимых пшениц в такие годы из-за сильной изреженности стеблестоя весной приходится подсеять ячменем или перепаживать и пересевать поздними яровыми культурами.

Как уже указывалось, одной из особенностей этого сорта является формирование осенью побегов, находящихся на разных этапах органогенеза. В то время как одни побеги кушения осенью синхронно развиваются и обеспечивают выровненный стеблестой продуктивных побегов ранней весной, другая часть потенциально возможных побегов (третьего, четвертого порядка кушения) задерживается на I этапе. Эти зачаточные побеги в виде так называемых «резервных» почек хорошо зимуют. Когда растения озимой пшеницы хорошо перезимовали и их основные побеги быстро перешли к IV—V этапам органогенеза, тогда в силу закона редукции зачаточные, «резервные» почки не двигаются в росте и полностью отмирают. Если же в силу крайне неблагоприятных условий зимы основные осенние побеги, находившиеся на II этапе органогенеза, сильно повреждены и отстают в развитии или полностью гибнут, тогда развиваются побеги из «резервных» конусов, которые сохраняются лучше, так как, во-первых, на I этапе они более морозостойкие, чем побеги на II этапе, и, во-вторых, поскольку они находятся не в состоянии покоя, как это имеет место у Ульяновки, у них, хотя и замедленно, зимой проходили яровизационные процессы, которые обеспечили им переход к IV—V и последующим этапам органогенеза ранней весной. По этой причине они развиваются в нормальные продуктивные побеги.

Учет числа перезимовавших растений в зависимости от сроков сева показывает, что главные побеги растений ранних сроков сева в большинстве лет в силу завершения с осени первой стадии раз-

вития наиболее чувствительны к неблагоприятным условиям (низким температурам и избыточному снежному покрову). Это было установлено в сравнительно суровую зиму 1971/72 г. Как видно из данных табл. 29, ранней весной 1972 г. в условиях варианта с естественным снежным покровом у пшеницы Мироновской 808 сохранилось 65% растений и 51% побегов (при севе 10 августа), а при оптимальном сроке сева — 98% живых растений и 95% побегов; в условиях избыточного снежного покрова соответственно при севе 10 августа сохранилось живыми 52% растений и 62% побегов и при севе 25 августа 77% растений и 70% побегов.

Таблица 29

Количество перезимовавших растений и побегов озимой пшеницы.
Москва, 1971/72 г. (%)

Сорт	Срок сева	Естественный снежный покров		Избыточный снежный покров	
		живых (%)			
		растений	побегов	растений	побегов
Мироновская 808	10 VIII	65	51	52	62
	25 VIII	98	95	77	70
	5 IX	97	97	62	58
	20 IX	100	97	100	99
Мироновская юбилейная 50	10 VIII	62	58	50	62
	25 VIII	96	94	76	78
	5 IX	61	57	75	77
	20 IX	78	84	76	69
Ульяновка	10 VIII	82	49	46	47
	20 VIII	96	94	65	61
	5 IX	96	96	69	68
	20 IX	100	98	76	86
Безостая 1	25 VIII	83	92	46	44
	5 IX	95	96	63	71
Аврора	25 VIII	81	70	48	50
	5 IX	95	95	62	69

Для того чтобы лучше представить значение сроков сева и условий перезимовки, следует остановиться на анализе данных редукции («сброса») осенних побегов кушения у разных сортов при разных сроках сева. Морфофизиологический анализ побегов кушения вскрывает, во-первых, сортовые различия по этому показателю, во-вторых, влияние сроков сева. Все это имеет несомненное отношение и к вопросу о последствии зимних повреждений.

В табл. 30 приводятся данные осеннего, весеннего и летнего учета числа побегов кушения у двух сортов пшеницы — Мироновской 808 и Безостой 1 разных сроков сева. Как видно из табл. 30, во-первых, растения Мироновской 808 значительно сильнее

Таблица 30

Динамика редукции осенних побегов кушения разных сортов озимых пшениц
в зависимости от сроков сева

Дата учета	Сроки сева							
	10 VIII		25 VIII		15 IX		25 IX	
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>

Мироновская 808

1972 г.								
16 XI	10	100	5	100	3	100	3	100
1973 г.								
21 V	10	100	5	100	3	100	2	66
26 V	4	40	3	60	2	66	2	66
20 VII	1	10	3	60	1	33	1	33

Дата учета	Сроки сева							
	10 VIII		25 VIII		5 IX		25 IX	
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>a</i>	<i>б</i>

Безостая 1

1972 г.								
16 XI	6	100	4	100	2	100	1	100
1973 г.								
21 V	4	67	3	75	2	100	1	100
26 V	2	33	2	50	1	50	0,5	50
20 VII	1	17	2	50	1	50	0,3	33

Примечание. *a* — общее число побегов перед уходом в зиму, *б* — число редуцированных побегов (%).

кустятся с осени и больше сохраняют побегов к уборке по сравнению с Безостой 1. Во-вторых, значительные различия числа осенних побегов при разных сроках сева в течение весны и лета сглаживаются; растения теряют от 50 до 90% побегов кушения уже к концу июля, при этом больше всего и в абсолютных цифрах и в процентном отношении сохраняется осенних побегов при оптимальном сроке сева (50—60%). При слишком раннем сроке сева большая часть побегов отмирает уже в конце мая, и к уборке сохраняется лишь 25%. При позднем сроке сева у растений Миро-

новской 808 с осени образовалось не более трех побегов, а у Безостой 1 не наступает кущение, а летом выпадает до 50% растений.

Таким образом, в 1972/73 г. наиболее изреженными к уборке оказались посевы на делянках как очень ранних сроков сева, так и очень поздних. Интересно отметить, что уже в конце мая, особенно при ранних сроках сева, можно было наблюдать значительное отставание в развитии конусов нарастания в пределах куста: в то время как одни побеги уже переходили к VI—VII этапам органогенеза, другие задерживались на II—III этапах и постепенно отмирали.

Отмирание побегов к весне определяется не только неблагоприятным влиянием зимних условий. При оценке как зимостойкости сортов, так и условий зимовки следует учитывать динамику «сброса» побегов: чем благоприятнее для развития растений условия в осенне-зимний период, тем меньше «сброс» осенних побегов и выше продуктивность растений.

В тех случаях, когда озимая пшеница внешне кажется нормально перезимовавшей, у растений ранних сроков сева, находившихся под избыточным снежным покровом, часто проявляется деформация колосков уже на V этапе органогенеза (рис. 24). При этом чем более снегостоек сорт, тем меньше последствие зимних повреждений. Это хорошо видно при сравнении зачаточных колосков озимой пшеницы Мироновской 808 и Безостой 1.

В то же время растения поздних сроков сева, у которых размеры конусов нарастания меньше, значительно уступают в развитии и продуктивности колоса весной. По этой причине, несмотря на лучшую перезимовку, они не могут быть рекомендованы производству. Эффект последствия выпревания в значительной степени зависит от сортовой устойчивости пшеницы (табл. 31). Как видно из табл. 31, выпревание зимой 1965/66 г. отрицательно сказалось на высоте растений, прохождении этапов органогенеза, коэффициенте кустистости и числе колосков в колосе.

Значительно чаще явления выпревания наблюдаются на посевах озимой ржи, высеваемых в северо-восточных, восточных и северо-западных районах Европейской территории Советского Союза. При раннем выпадении снежного покрова и длительном его залегании углеводное истощение растений приводило к их голоданию, а затем такие растения в условиях высокой влажности под тающим снежным покровом подвергались нападению грибов. И лишь в самые последние годы было выяснено, что к числу причин, приводящих к гибели побегов, преимущественно главных, череззернице и значительному снижению продуктивности колоса ржи, относится недифференцированный рост конусов нарастания.

Как видно из табл. 32 и рис. 25, конус нарастания озимой ржи уже с осени при благоприятных для этого условиях может достичь больших размеров, а затем под снегом при температуре 0, +2°C

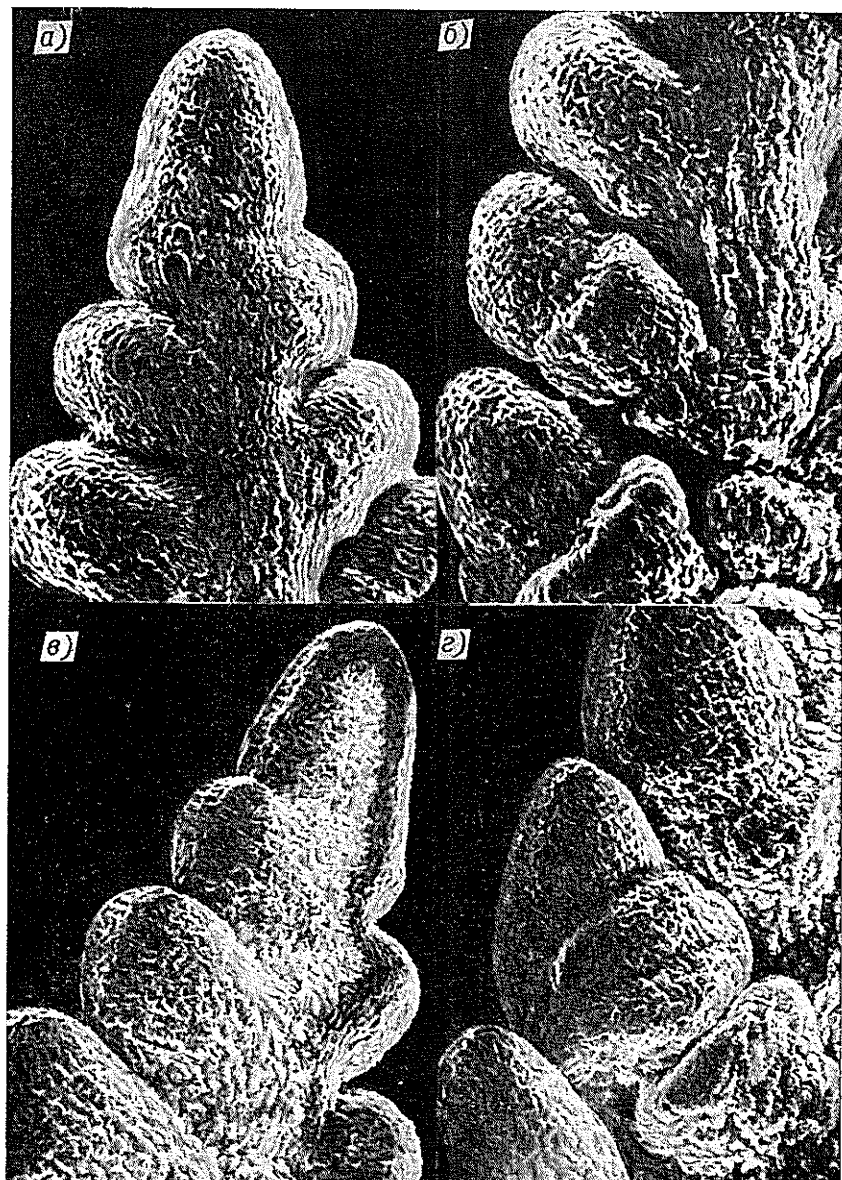


Рис. 24. Влияние раннего срока сева (10 августа) и «избыточного» снежного покрова (50—65 см) на формирование колосков. IV этап органогенеза.

Озимая пшеница Безостая 1 (×333): а — верхушечные колоски отстали в развитии, потемнели, начинается отмирание, б — колоски в средней части колоса, видно израстание колосовой и колосковых осей; озимая пшеница Мироновская 808: в — верхушечные колоски отстали в развитии, их редукция обнаруживается на V этапе, г — нормальные колоски. 27 апреля 1973 г.

Таблица 31

Влияние выпревания на рост, развитие и органогенез растений озимой пшеницы в Подмоскowie [12]

Сорт	Группа по степени поврежденности	Высота растений (см)	Число зеленых листьев	Этап органогенеза	Длина колоса (мм)	Число колосков в колосе	Число боковых побегов
Мироновская 808	1	75	3,3	VIII	94	18	1,2
	2	52	3,3	VII	60	14	0,2
	3	37	2,8	VII	25	12	0,2
ППГ-186	1	85	3,4	VIII	100	19	1,0
	2	56	3,4	VII	71	17	0,6
	3	40	3,4	VII	28	13	0,6
Кунцевская 45	1	76	3,3	VIII	109	18,8	1,2
	2	50	3,0	VII	58	15,2	0,0
	3	49	3,0	VII	49	16,5	0,0
	4	34	3,2	VII	16	14,4	0,0
Фанал	1	58	4,2	VII	54	19,9	1,1
	2	39	4,0	VII	23	17,6	0,3
	3	38	3,8	VI—VII	24	15,5	0,0
	4	25	3,3	VI—VII	8	14,2	0,0
Эрос	1	66	3,5	VII	53	19,4	1,5
	2	42	3,9	VII	20	19,0	0,6
	3	43	3,5	VII	13	18,0	0,3
	4	27	3,2	VI—VII	5	13,3	0,0
Хохланд	1	52	3,9	VII	47	19,9	2,1
	2	40	4,1	VII	20	17,2	1,6
	3	31	3,9	VI—VII	8	15,2	1,2
	4	25	3,2	VI—VII	5	12,8	0,0

Примечание. 1 — нормальные, 2 — слабо поврежденные, 3 — средние поврежденные, 4 — сильно поврежденные растения.

продолжать расти даже в зимние месяцы, как это отмечалось в зимы 1972/73 (рис. 26) и 1973/74 гг. К весне у таких растений побеги отмирали (рис. 27).

Как было отмечено в опытах с разными сортами озимых пшениц, у озимой ржи рост конуса нарастания наиболее интенсивно проходил в условиях избыточного снежного покрова и при ранних сроках сева (рис. 28). Так, например, зимой 1972/73 г. под естественным снежным покровом длина конуса нарастания растений первого срока сева к 28 февраля достигала 1,5 мм, под избыточным снежным покровом 1,9 мм, а при позднем сроке сева, хотя длина конусов нарастания тоже была необычной (0,9—0,93 мм), различия между их размерами под естественным и избыточным снежным покровом были невелики.

Таблица 32

Динамика развития и роста озимой ржи сорта Вятка в осенний, зимний и весенний периоды 1972—1973 гг. при разных сроках сева и различных вариантах снежного покрова

Дата проведения биологического контроля	Естественный снежный покров 20—25 см											
	10 VIII			25 VIII			5 IX			20 IX		
	число побегов /г	этап	длина конуса (мм)	число побегов /г	этап	длина конуса (мм)	число побегов /г	этап	длина конуса (мм)	число побегов /г	этап	длина конуса (мм)
1972 г.												
16 X	5	II	1,1	5	II	1,1	4	II	0,46	1	I	0,30
30 X	6	II	1,2	5	II	1,1	4	II	0,60	1	I	0,35
13 XI	6	II	1,2	6	II	1,2	4	II	0,80	1	II	0,35
27 XI	6	II	1,2	6	II	1,2	4	II	0,85	1	II	0,40
11 XII	6	II	1,2	6	II	1,2	4	II	0,90	1	II	0,48
25 XII	6	II	1,2	6	II	1,2	4	II	0,90	1	II	0,48
1973 г.												
11 I	6	II—III	1,2	6	II	1,2	4	II	0,90	1	II	0,48
25 I	6	II—III	1,5	6	II	1,2	4	II	0,90	1	II	0,50
13 II	6	II—III	1,5	6	II—III	1,3	4	II	0,90	1	II	0,50
28 II	6	II—III	1,5	6	II—III	1,4	4	II	0,90	1	II	0,50
21 III	5	III—IV	1,6	6	II—III	1,5	4	II	0,90	1	II	0,50
3 IV	5	IV	1,8	6	II—III	1,5	4	II	0,90	1	II	0,50
12 IV	5	IV	1,9	7	III—IV	1,6	4	II—III	1,00	1	II	0,55

Дата проведения биологического контроля	Избыточный снежный покров 50—60 см												Бесснежье (2—3 см)		
	10 VIII			25 VIII			5 IX			20 IX			25 VIII		
	число побегов <i>n</i>	этап	длина колуся (мм)	число побегов <i>n</i>	этап	длина колуся (мм)	число побегов <i>n</i>	этап	длина колуся (мм)	число побегов <i>n</i>	этап	длина колуся (мм)	число побегов <i>n</i>	этап	длина колуся (мм)
1972 г.															
16 X	5	II	1,1	5	II	1,1	4	II	0,46	1	I	0,30	6	II	1,1
30 X	6	II	1,2	6	II	1,1	4	II	0,60	1	I	0,30	6	II	1,1
13 XI	6	II	1,2	6	II	1,2	4	II	0,80	1	II	0,30	6	II	1,1
27 XI	6	II	1,2	6	II	1,2	4	II	0,90	1	II	0,39	6	II	1,1
11 XII	6	II	1,2	6	II	1,2	4	II	0,93	1	II	0,45	6	II	1,2
25 XII	6	II	1,2	6	II	1,2	4	II	0,93	1	II	0,55	6	II	1,2
1973 г.															
11 I	6	II—III	1,5	6	II	1,3	4	II	0,93	1	II	0,55	6	II	1,2
25 I	6	II—III	1,6	6	II	1,3	4	II	0,93	1	II	0,55	6	II	1,2
13 II	6	II—III	1,8	6	II	1,3	4	II	0,93	1	II	0,55	6	II	1,2
28 II	6	II—III	1,9	6	II—III	1,5	4	II	0,93	1	II	0,55	6	II	1,2
21 III	5	III—IV	2,0	6	II—III	1,7	4	II	1,1	1	II	0,65	6	II—III	1,3
3 IV	5	IV	2,0	6	III—IV	1,8	4	II	1,1	1	II	0,65	6	II—III	1,4
12 IV	5	IV	2,3	7	IV	1,9	4	II—III	1,2	1	III	0,65	6	III—IV	1,5

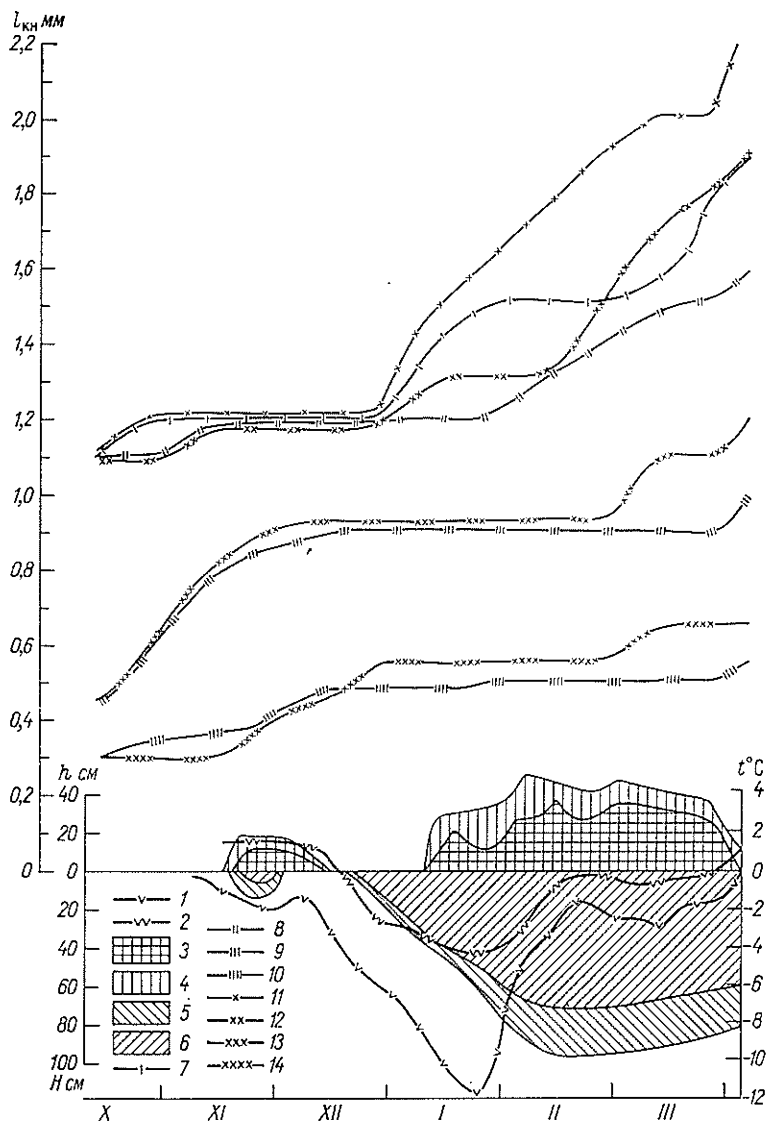


Рис. 25. Динамика роста конуса нарастания озимой ржи Вятка разных сроков сева в условиях снежного покрова разной высоты (1972/1973 г.)

Температура почвы на глубине залегания узла кущения под снежным покровом: 1 — «естественным», 2 — «избыточным»; высота снежного покрова: 3 — «естественного», 4 — «избыточного»; глубина промерзания почвы под снежным покровом: 5 — «естественным», 6 — «избыточным». «Естественный» снежный покров, срок сева: 7 — первый, 8 — второй, 9 — третий, 10 — четвертый. «Избыточный» снежный покров, срок сева: 11 — первый, 12 — второй, 13 — третий, 14 — четвертый. 1972/73 г. l_{kh} — длина конуса нарастания (мм), h — высота снежного покрова (см), H — глубина промерзания почвы (см).

Недифференцированный рост, вытягивание конуса нарастания и его отмирание у озимой ржи можно иллюстрировать фотографиями (рис. 29). Так, уже в конце марта на IV этапе органогенеза

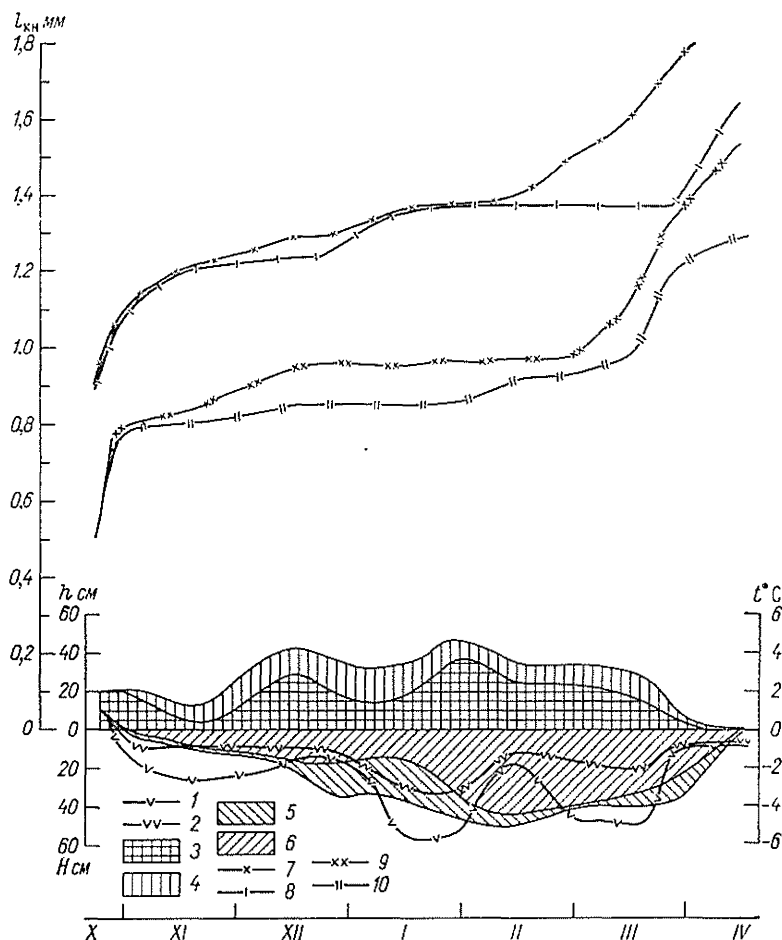


Рис. 26. Динамика роста конуса нарастания озимой ржи Вятка первого и второго сроков сева в условиях «естественного» и «избыточного» снежного покрова.

Усл. обозначения l_{kh} , h , H и I —6 см. рис. 25. Первый срок сева, снежный покров: 7—«избыточный», 8—«естественный»; второй срок сева, снежный покров: 9—«избыточный», 10—«естественный». 1973/74 г.

проявились четкие различия в состоянии конусов нарастания растений, зимовавших под естественным и избыточным снежным покровом (рис. 30). Еще четче эти различия проявились в апреле

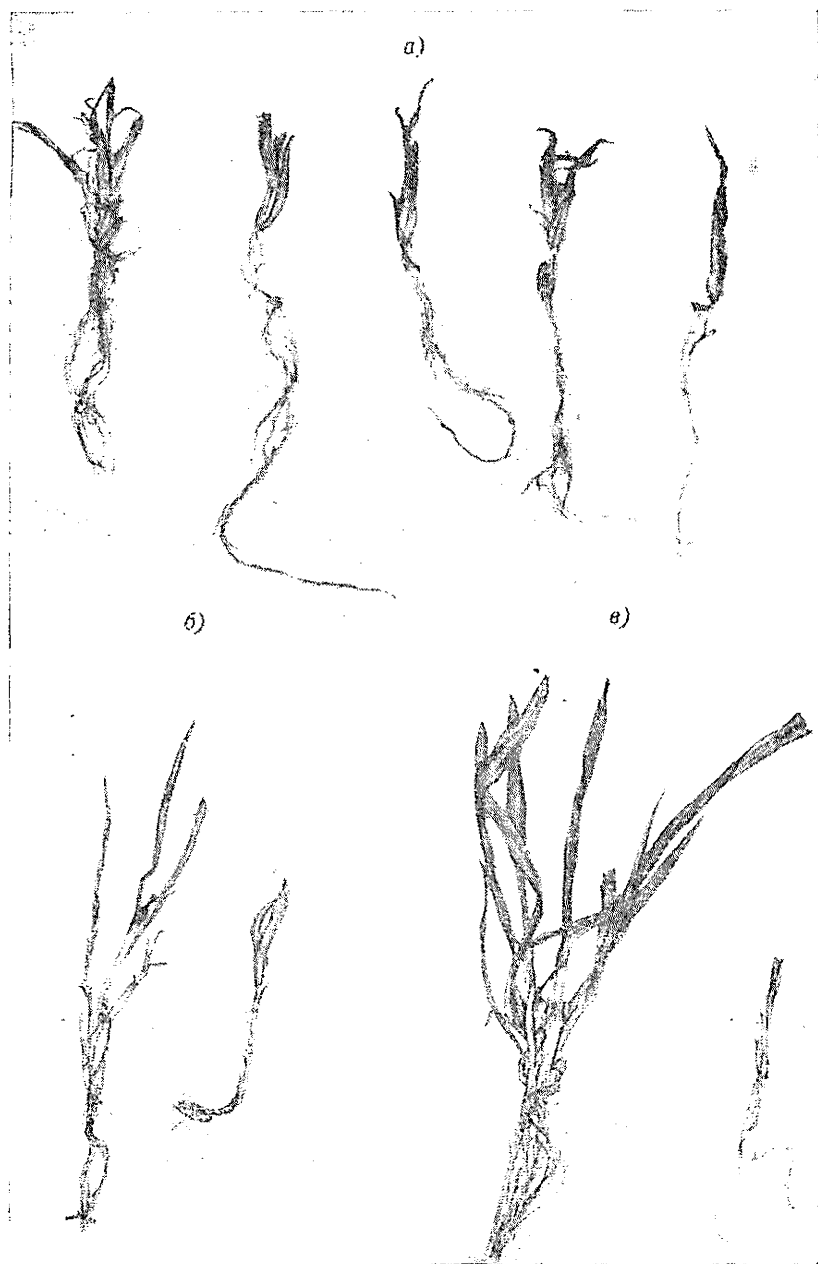


Рис. 27. Выпревание озимой ржи Вятка зимой 1965/66 г.

Внешний вид растений из образцов, полученных от агрометстанций: а — Чарозеро (Калининская область), б — Игла (Удмуртская АССР), в — Чердынь (Пермская область).

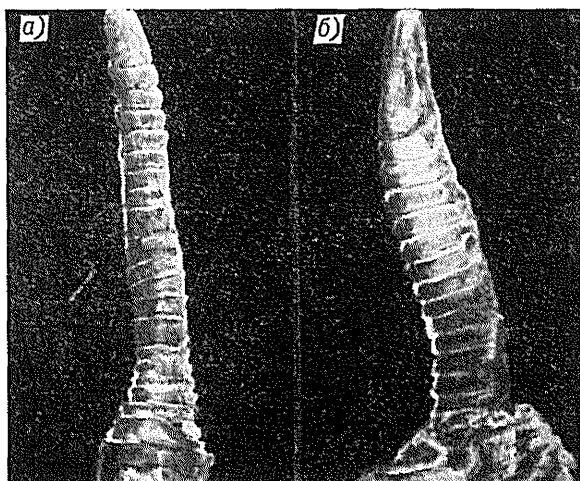


Рис. 28. Состояние конуса нарастания у озямой ржи Вятка после перезимовки 3 апреля 1973 г. (IV этап).

а — при «естественном» снежном покрове (нормальное состояние), б — при «избыточном».

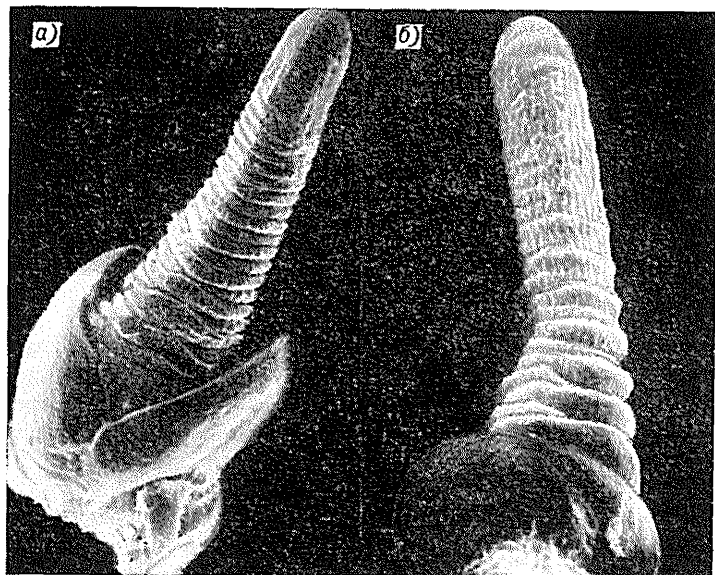


Рис. 29. Состояние конусов нарастания у озямой ржи Вятка после перезимовки. 21 марта 1973 г. (начало IV этапа).

а — нормальное состояние при «естественном» снежном покрове, б — вытягивание конуса нарастания при «избыточном» снежном покрове ($\times 140$).

(рис. 31), когда растения перешли к V этапу органогенеза. На фотографиях даже у растений, взятых с варианта под избыточным снежным покровом, можно заметить потерю тургора тканями недифференцированной верхушки конуса нарастания, появление темных пятен, особенно четко это видно на верхушках конусов нарастания у растений из-под избыточного снежного покрова. На рис. 31 *а, б* для сравнения показаны верхушки конусов нарастания

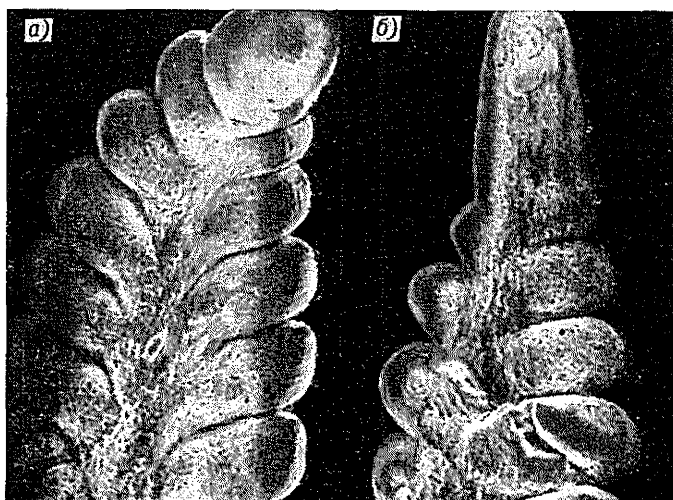


Рис. 30. Состояние конуса нарастания озимой ржи Вятка весной при раннем сроке сева (10 августа 1972 г.) и естественном снежном покрове 20—25 см. 15 апреля 1973 г.

а — зачаточный колос, начало IV этапа органогенеза ($\times 60$), *б* — верхушка колоса недифференцирована, и все колоски отстают на один этап от средней части колоса ($\times 222$).

раннего срока сева (10 августа) на V этапе органогенеза под разным снежным покровом (естественным *а* и избыточным *б*). У растений из-под избыточного снежного покрова, позже начавших вегетировать, небольшая часть недифференцированной верхушки конуса нарастания еще сохранилась на эту дату (27 апреля — рис. 31 *б*), однако несколько позже (к 5 мая) она засыхает.

Таким образом, в результате многолетних экспериментов было установлено, что под глубоким снежным покровом наряду с процессами дыхания, на которые тратятся запасы углеводов, накопленные осенью в ходе закаливания, у растений при $0 \pm 1^\circ\text{C}$ и выше в зоне расположения узлов кущения протекают ростовые процессы. Они незначительные при поздних сроках сева и весьма заметные у хорошо раскустившихся растений с 7—8 побегами и более. Рост

в длину листовых пластинок и их этиоляция не всегда приводят к их быстрой гибели, хотя в ряде лет отмечается преждевременное их отмирание, что несколько задерживает развитие растений, особенно в годы с холодной и сухой весной. Нередко эти листья зеленеют на свету и некоторое время участвуют в фотосинтетической деятельности озимой пшеницы и озимой ржи. В большинстве лет

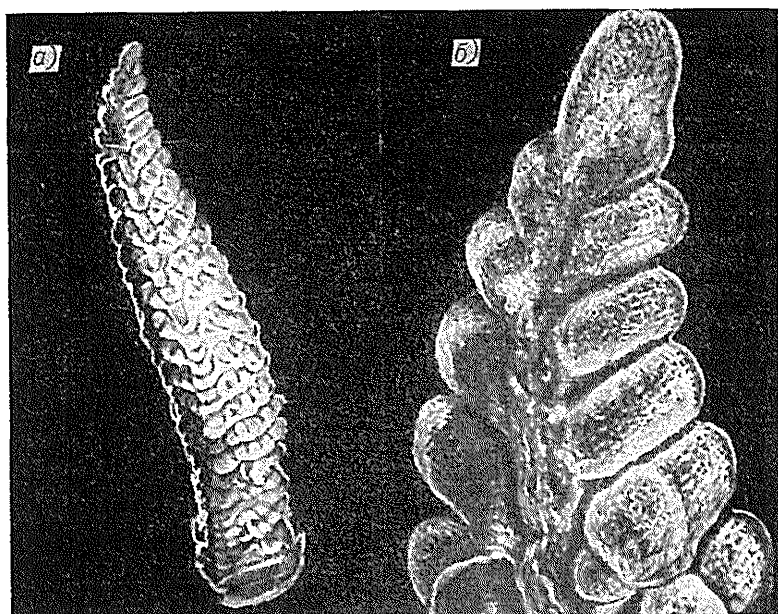


Рис. 31. Состояние конуса нарастания у озимой ржи Вятка после перезимовки. 27 апреля 1973 г. Конец IV этапа.

В условиях снежного покрова: а — «естественного» (нормальное состояние), б — «избыточного» (верхушка конуса не дифференцируется).

ненормально вытянутые, этиолированные 2—4 листа (считая снизу вверх) отмирают полностью.

Значительно более губительным для растения является «израстание», недифференцированный рост конуса нарастания. Отмирание даже верхушечной части конуса нарастания ведет к резкому снижению продуктивности растений, а полная гибель конусов нарастания — к значительному снижению урожая. Неоднократно наблюдалась так называемая «белоколосица», когда часть колосковых чешуй лишена хлорофилла; в таких колосках цветки стерильны. «Белоколосица» может вызываться разными причинами — повреждениями скрытостебельных вредителей, дефицитом ряда

необходимых микроэлементов и др. Однако в большинстве случаев, особенно у озимой ржи, «белоколосица» является результатом последствий зимних повреждений, в том числе выпревания.

Если обобщить полученные физиологами данные о процессах, идущих в озимых растениях под длительно залегающим глубоким снежным покровом при температурах $0 \pm 2^{\circ}\text{C}$, то можно их классифицировать как углеводное истощение в связи с тратами растений на дыхание и ростовые процессы, голодание и разложение белковых компонентов и недифференцированный рост конусов нарастания. При благоприятных для развития грибной флоры условиях ослабленные, аномально «изросшие» органы озимых растений поражаются снежной плесенью и склеротинией, которые уничтожают всю надземную массу растений и завершают выпадение и полную гибель озимых культур.

ОСНОВНЫЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ ВЫПРЕВАНИЕ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР, И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ СЕЗОННОГО ИЗМЕНЕНИЯ

Изучение результатов исследования физиологических процессов выпревания озимых посевов позволило прийти к выводу, что гибель озимых при выпревании определяется в основном состоянием растений осенью, температурой почвы на глубине узла кущения и на поверхности почвы под снегом, глубиной промерзания почвы и продолжительностью сохранения на полях мощного снежного покрова.

Исследование режима температуры почвы на глубине залегания узла кущения озимых показало, что при определенных сочетаниях высоты снежного покрова и глубины промерзания почвы температура удерживается длительный период в пределах, при которых происходит выпревание растений (0, -5°C). По результатам наблюдений с 1965 по 1976 г. на агрометстанции Немчиновка Московской области при слабом промерзании почвы в период образования мощного снежного покрова (высотой 30 см и более) минимальная температура почвы в течение всего последующего периода зимы была в пределах 0, -3°C (табл. 33, 1965/66, 1967/68, 1969/70, 1970/71 гг.).

Температура почвы на глубине узла кущения озимых (в среднем на глубине 3 см) при отсутствии на полях снежного покрова зависит главным образом от температуры воздуха и глубины промерзания почвы [18, 22]. Суточный и периодный ход ее подобен ходу температуры воздуха, но абсолютные значения бывают выше, чем температура воздуха. При небольшом промерзании почвы разница между температурой почвы на глубине 3 см и температурой воздуха больше, чем при глубоком промерзании почвы.

При установлении на полях озимых снежного покрова влияние температуры воздуха на температуру почвы значительно уменьшается, так как снег обладает большими термоизолирующими свойствами (табл. 34). Теплопроводность его в 10 раз меньше теплопроводности минеральной части почвы.

Теплоизолирующие свойства снежного покрова тем больше, чем больше его высота и отражательная способность и чем меньше плотность.

Таблица 33

Сезонное изменение минимальной температуры воздуха t ($^{\circ}\text{C}$), высоты снежного покрова h (см), глубины промерзания почвы H (см) и минимальной температуры почвы на глубине узла кущения озимых t_3 ($^{\circ}\text{C}$) на агрометстанции Немчиновка с 1965/66 по 1974/75 г.

Показатель	XI			XII			I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1965/66 г.															
t	-4	-22	-20	-7	-10	-9	-14	-27	-25	-31	-18	-11	-6	-18	-9
h	4	11	4	5	4	25	30	33	41	41	62	51	44	43	21
H	0	12	15	15	18	20	16	16	18	22	28	27	23	19	15
t_3	0	-5	-3	-1	-4	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-3	-2	-2	-1
1966/67 г.															
t	-17	-4	-4	-24	-22	-18	-20	-28	-33	-32	-24	-17	-5	-12	-9
h	9	13	0	4	25	25	39	35	42	45	45	44	45	41	28
H	6	0	9	39	53	58	58	62	68	76	78	79	75	68	61
t_3	-4	-4	-1	-5	-4	-3	-2	-3	-4	-4	-3	-3	-2	-1	-1
1967/68 г.															
t	0	-2	-18	22	-24	-28	-30	-32	-30	-25	-25	-25	-19	-16	-8
h	0	1	6	20	26	28	39	48	50	47	57	67	63	65	0
H	0	0	20	20	18	25	23	31	40	37	42	44	42	40	32
t_3	0	0	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-2	-1	-2	-2	-2
1968/69 г.															
t	-7	-18	-19	-28	-28	-16	-27	-32	-31	-31	-27	-18	-23	-19	-17
h	0	5	9	14	17	18	20	21	24	31	23	25	26	26	10
H	12	22	26	19	21	20	34	49	66	74	82	89	98	104	107
t_3	0	-3	-4	-3	-3	-2	-5	-6	-6	-4	-5	-5	-6	-4	-4
1969/70 г.															
t	-13	-2	-3	-8	-19	-28	-25	-37	-32	-20	-24	-20	-16	-15	-12
h	16	0	0	0	9	10	29	40	35	44	65	59	57	64	61
H	0	0	0	2	14	61	73	71	70	74	79	0	0	79	79
t_3	-3	0	0	-4	-6	-10	-10	-6	-5	-6	-5	-6	-6	-4	-4
1970/71 г.															
t	-17	-4	-9	-14	-14	-20	-20	-20	-3	-18	-24	-22	-21	-18	-11
h	18	0	5	8	10	11	16	5	11	6	18	12	10	10	0
H	0	0	15	17	15	15	27	34	34	35	43	3	93	107	109
t_3	-1	-1	-3	-2	-2	-2	-2	-4	-2	-4	-6	-4	-5	-4	-5

Показатель	XI			XII			I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

1971/72 г.

t	-8	-14	-9	-10	-22	-24	-24	-31	-26	-26	-1	-16	-20	-20	-8
h	0	2	3	10	9	16	17	18	21	18	16	13	13	—	—
H	0	9	8	5	15	23	31	49	60	81	86	88	93	102	100
t_3	-2	-3	-2	-2	-2	-3	-4	-6	-7	-8	-5	-5	-8	-10	-3

1974/75 г.

t	-6	-6	-8	-11	-12	-8	-19	-24	-13	-15	-26	-18	-20	-7	-7
h	2	0	0	9	9	10	13	11	21	26	40	36	23	0	0
H	0	0	11	10	12	11	16	19	20	20	21	22	21	19	0
t_3	-2	—	-2	-3	-5	-3	-4	-4	-2	-2	-4	-3	-3	-4	0

В течение зимы плотность снежного покрова увеличивается, в январе—феврале она составляет в среднем $0,18—0,22$ г/см³, а к концу зимы возрастает до $0,25—0,35$ г/см³. Термоизолирующая роль каждого сантиметра снежного покрова к концу зимы оказывается значительно меньше, чем в первой половине. Это наглядно подтверждается данными, приведенными в табл. 34 (градиент температуры в травостое озимых). С увеличением высоты снежного покрова в конце зимы и повышением температуры воздуха, температура почвы на глубине узла кущения во второй половине периода зимовки в районах устойчивого залегания снежного покрова всегда оказывается выше, чем в начале зимы [5, 16, 22], в результате чего процессы выпревания озимых в этот период усиливаются. Однако при уплотнении снежного покрова начиная с момента его образования на полях температура почвы на глубине узла кущения бывает ниже, чем при его естественном залегании, не только зимой, но и весной в период снеготаяния, что очень важно для сохранения растений. Результаты наших полевых опытов по изучению роли плотности снежного покрова при перезимовке озимых на агрометстанции Белогорка приведены в табл. 35.

Температура почвы после образования снежного покрова почти всегда бывает выше температуры воздуха. Только во время значительных потеплений (до оттепелей) при высоком снежном покрове и глубоком промерзании почвы она может оказаться ниже, чем температура воздуха [22].

Изменение высоты снежного покрова особенно сильно сказывается на температуре почвы на глубине 3 см при небольшой высоте снежного покрова (до 5—10 см), а при мощном снежном покрове высотой 30 см и более имеет небольшое значение, так как градиент температуры с глубиной снежного покрова резко понижается.

Таблица 34

Влияние высоты снежного покрова на температуру в травостое озимых, на поверхности почвы и в почве на глубине залегания узла кущения. Агрометстанция Белогорка, Ленинградская область

Показатель	1962/63 г.						1963/64 г. ¹					
	XI	XII	I	II	III	IV	XI	XII	I	II	III	IV
Минимальная температура (°C)												
воздуха в будке	-9,1	-24,8	-33,3	-32,6	-33,3	-22,5	-19,4	-28,7	-20,7	-28,7	-29,2	-6,7
на высоте травостоя t_x	-8,0	-27,5	-30,0	-15,0	-13,9	-10,0	-14,3	-23,6	-16,8	-6,3	-6,5	-2,0
на поверхности почвы t_0	-3,9	-3,7	-5,0	-3,9	-3,3	-2,7	-2,7	-5,0	-4,6	-1,6	-2,0	-0,4
на глубине узла кущения t_3	-2,2	-2,7	-4,6	-3,3	-3,3	-2,7	-2,0	-2,0	-3,5	-1,2	-1,6	-0,4
Высота снежного покрова (см)	0	5	15	20	33	31	5	5	25	37	30	12
Глубина промерзания почвы (см)	13	23	60	80	100	110	15	20	28	50	63	72
Высота травостоя (см)	10	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	20
Разность температур												
$(t_x - t)$	+1,1	+2,7	+3,3	+17,6	+19,4	+12,5	+5,1	+5,1	+3,9	+22,4	+22,7	+4,7
$(t_0 - t)$	+5,2	+21,1	+28,3	+28,7	+30,0	+19,8	+16,7	+23,7	+16,1	+27,4	+27,2	+6,3
$(t_3 - T)$	+6,9	+22,1	+28,9	+29,0	+30,0	+19,8	+17,4	+26,7	+17,2	+27,5	+27,6	+6,3
Градиент минимальной температуры в травостое (°C/см)	0,41	2,38	2,50	1,11	1,06	0,73	0,54	0,93	0,61	0,23	0,22	0,08

¹ Посев 13 августа, расстояние между рядками 15 см, кустистость озимой ржи 7,5

Показатель	1964/65 г.						За зиму		
	XI	XII	I	II	III	IV	1962/63 г.	1963/64 г.	1964/65 г.
Минимальная температура (°C)									
воздуха в будке	-16,2	-24,1	-24,6	-34,6	-23,3	-15,6	-33,3	-29,2	-34,6
на высоте травостоя t_T	-15,7	-21,5	-16,5	-6,1	-4,3	-3,9	-30,0	-23,6	-21,5
на поверхности почвы t_0	-9,9	-2,0	-1,8	-1,0	-0,6	0,0	-5,0	-5,0	-9,9
на глубине узла ку- щения t_3	-9,8	-1,2	-1,4	-1,0	-0,4	0,0	-4,6	-3,5	-6,9
Высота снежного покро- ва (см)	0	14	14	33	45	34	33	38	54
Глубина промерзания почвы (см)	22	28	29	37	43	44	114	74	58
Высота травостоя (см)	10	10	10	10	10	10	10	20	10
Разность температур									
($t_T - t$)	+0,5	+2,6	+8,1	+28,5	+19,0	+11,7	+3,3	+5,6	+13,1
($t_0 - t$)	+6,3	+22,1	+22,8	+33,6	+22,7	+15,6	+28,3	+24,2	+24,7
($t_3 - T$)	+9,4	+22,9	+23,2	+33,6	+22,9	+15,6	+28,7	+25,7	+27,7
Градиент минимальной температуры в травос- тое (°C/см)	0,58	1,95	1,47	0,51	0,37	0,39	—	—	—

Таблица 35

Влияние плотности снега на глубину промерзания и минимальную температуру почвы на глубине узла кущения. Агрометстанция Белогорка, Ленинградская область

Показатель	Участок	1962/63 г.			
		январь	февраль	март	апрель
Высота снежного покрова на конец месяца (см)	I	23	30	30	6
	II	20	34	35	16
Плотность снега на конец месяца (г/см ³)	I	0,18	0,25	0,30	0,29
	II	0,34	0,34	0,36	0,39
Глубина промерзания почвы на конец месяца (см)	I	75	88	98	100
	II	80	93	100	105
Минимальная температура почвы на глубине 3 см за месяц (°C)	I	-5,8	-2,7	-2,7	-2,7
	II	-7,3	-6,5	-3,9	-2,7
Средняя месячная температура почвы (°C)	I	-2,4	-1,9	-2,1	-1,3
	II	-4,0	-3,2	-2,5	-0,8
Минимальная температура воздуха за месяц (°C)	I	-33,3	-30,8	-33,3	-22,5

Показатель	Участок	1963/64 г.				
		декабрь	январь	февраль	март	апрель
Высота снежного покрова на конец месяца (см)	I	12	9	25	14	7
	II	12	13	29	18	12
Плотность снега на конец месяца (г/см ³)	I	0,22	0,25	0,22	0,28	0,28
	II	0,30	0,38	0,38	0,40	0,39
Глубина промерзания почвы на конец месяца (см)	I	25	55	72	81	79
	II	57	67	86	99	97
Минимальная температура почвы на глубине 3 см за месяц (°C)	I	-1,2	-1,3	-2,0	-2,4	0
	II	-7,1	-8,0	-5,0	-4,8	-0,5
Средняя месячная температура почвы (°C)	I	-0,6	-1,4	-1,5	-1,6	+0,8
	II	-2,7	-2,2	-2,9	-2,8	-0,3
Минимальная температура воздуха за месяц (°C)	I	-28,7	-20,7	-28,7	-29,2	-6,7

Примечание. I — участок с естественным снежным покровом, II — с уплотненным.

Так, градиент минимальной температуры в снежном покрове, по данным А. П. Тольского, изменяется от 4,35°C на глубине 1 см до 0,80°C на глубине 5 см, от 0,32°C на глубине 20 см до 0,28°C на глубине 30 см [16].

По результатам наших исследований оказалось, что за счет каждого сантиметра высоты снежного покрова температура

почвы на глубине 3 см под снегом в среднем повышалась по сравнению с температурой воздуха при высоте снежного покрова 5 см на 0,5°C, при высоте 30 см на 0,3°C и при высоте 60 см на 0,2°C.

С увеличением высоты снежного покрова до 30 см и более температура почвы на глубине 3 см и на поверхности почвы под снегом изменяется в очень небольших пределах при любых колебаниях температуры воздуха [17, 22].

Суточная амплитуда температуры в снежном покрове быстро затухает. По данным Б. П. Кароль, в январе 1946 г. под Ленинградом изменение суточной амплитуды температуры в зависимости от глубины снежного покрова было следующим: на поверхности снега 30°C, на глубине 5 см 15,8°C, на глубине 10 см 11,1°C, на глубине 25 см 2,1°C и на глубине 40 см 0,2°C.

Результаты наблюдений на метеорологических станциях в течение четырех лет показали, что в периоды понижения температуры воздуха зимой температура почвы на глубине 3 см при высоте снежного покрова 30 см и слабом промерзании почвы понижается незначительно, почти так же, как и при высоте снежного покрова 50—60 см (табл. 36). При глубоком промерзании почвы и высоте снежного покрова 30 см наблюдалось большее понижение температуры почвы. Ее суточный ход на глубине 3 см при такой высоте снежного покрова почти отсутствует. Максимальное значение суточной амплитуды температуры почвы на глубине 3 см при амплитуде температуры воздуха от 2 до 27°C составило 0,8°C. Из 190 случаев суточная амплитуда температуры почвы в 83% колебалась в пределах 0,0—0,3°C. В то же время при высоте снежного покрова от 11 до 20 см она была только в 2—4 раза меньше амплитуды температуры воздуха.

Таблица 36

Пределы понижения температуры почвы на глубине 3 см при различных понижениях температуры воздуха, высоты снежного покрова и глубины промерзания почвы

Пределы понижения температуры воздуха (°C)	Высота снежного покрова (см)						
	3		20—22	30—35		50	60
	глубина промерзания почвы (см)						
	30—40	60—80	60—80	30—40	60—80	50—60	50—60
—5	—0,8	—2,0	—0,4	—0,1	—0,1	0,0	0,0
—10	—3,3	—4,5	—1,7	—0,3	—0,1	0,0	0,0
—15	—5,8	—7,2	—2,9	—0,7	—2,1	0,0	0,0
—20	—8,3	—10,0	—4,0	—1,0	—3,3	—0,2	—0,1
—25	—10,7	—12,6	—5,4	—1,2	—4,5	—0,5	—0,3
—30	—13,3	—15,3	—6,5	—1,5	—5,8	—0,7	—0,6

Абсолютное значение температуры почвы на глубине 3 см в течение всего периода залегания снежного покрова высотой 30 см и более при установлении его на слабо промерзшую почву (менее 50 см) сохранялось в пределах 0, —3°C, т. е. в наиболее благоприятных для прохождения процессов выпревания. При образовании снежного покрова высотой 30 см и более после промерзания почвы на глубину 50—60 см температура почвы у узлов кущения озимых бывает значительно ниже (до —6, —8°C).

При очень сильном охлаждении почвы (при промерзании ее до 120—150 см и более) до установления на полях мощного снежного покрова минимальная температура почвы за зиму может оказаться даже ниже —20°C, но такие случаи в районах выпревания при анализе материалов наблюдений за последние 25—30 лет нами обнаружены не были. Поэтому при образовании снежного покрова высотой 30 см на глубоко промерзшей почве растения находятся в течение всего дальнейшего периода его залегания в состоянии покоя, процессы дыхания идут очень слабо, запасы сахаров расходуются медленно и выпревания озимых не бывает даже при длительном залегании на полях снежного покрова.

Глубина промерзания почвы в нечерноземной зоне изменяется по годам в очень больших пределах (от 0 до 150 см, а в северо-восточных районах даже больше). Но чаще всего в конце зимы она менее 100 см. Быстрое увеличение глубины промерзания почвы происходит при отсутствии на полях снежного покрова или небольшой его высоте и отрицательной аномалии температуры воздуха (табл. 37, метеостанции Торжок, Саранск, 1962/63 г.).

Изменение глубины промерзания почвы, по данным Л. А. Разумовой [28], зависит главным образом от суммы отрицательных температур за прошедший период зимы, от высоты снежного покрова, уровня грунтовых вод и исходной глубины промерзания почвы (рис. 32 а и б). В районах с глубоким стоянием грунтовых вод при высоте снежного покрова более 60 см даже при очень низкой средней суточной температуре воздуха (до —20°C) глубина промерзания почвы не увеличивается. Она совсем не увеличивается и при высоте снежного покрова 30 см при средней суточной температуре выше —10°C.

Результаты наблюдений за глубиной промерзания почвы показали, что после образования на полях снежного покрова высотой 30 см и более она увеличивается незначительно (рис. 33). За весь период с такой высотой снежного покрова глубина промерзания почвы в большинстве случаев (в 80%) увеличивалась не более чем на 20 см и только в 7% случаев более чем на 30 см. При высоте снежного покрова 20 см она увеличивалась на 0—20 см в 52% случаев, а более чем на 30 см в 32% случаев.

Если снежный покров высотой 30 см и более устанавливается при глубине промерзания менее 30—50 см, то глубина промерзания

Таблица 37

Сезонное изменение глубины промерзания H (см) и минимальной температуры почвы на глубине узла кущения t_3 (°C) в зависимости от высоты снежного покрова h (см) и средней декадной температуры воздуха t (°C)

Станция	Год	Показатель	Ноябрь			Декабрь			Январь		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Торжок (Калининская область)	1962/63	H	4	25	26	18	34	47	61	91	98
		t_3	0	-2	-1	-3	-3	-4	-4	-6	-6
		h	0	0	4	0	5	5	6	12	13
		t	+1	-4	+2	-3	-8	-13	-13	-22	-15
Йошкар-Ола (Марийская АССР)	1962/63	H	10	21	23	34	42	44	62	68	79
		t_3	-2	-2	-1	-6	-3	-3	-3	-6	-5
		h	0	0	0	4	14	16	30	32	34
		t	+1	-3	0	-10	-6	-13	-16	-26	-18
Саранск (Мордовская АССР)	1962/63	H	0	12	0	21	33	43	63	84	105
		t_3	0	-1	-1	-8	-9	-8	-10	-14	-13
		h	0	0	0	4	3	5	14	13	18
		t	+1	-2	+1	-7	-6	-13	-15	-24	-18
Тихвин (Ленинградская область)	1965/66	H	0	16	22	26	23	18	20	26	27
		t_3	0	-3	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1
		h	10	7	21	24	43	41	46	53	64
		t	+1	-13	-11	-1	-5	-4	-15	-20	-13
Емецк (Архангельская область)	1965/66	H	0	2	4	47	44	44	45	55	65
		t_3	0	-1	-4	-2	-2	-2	-3	-4	-4
		h	5	6	9	15	29	32	43	43	45
		t	+1	-13	-16	-3	-5	-7	-28	-24	-19

Станция	Год	Показатель	Февраль			Март			Апрель		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Торжок (Калининская область)	1962/63	<i>H</i>	113	120	122	128	136	139	147	150	150
		<i>t₃</i>	-5	-6	-6	-5	-7	-7	-4	+3	-
		<i>h</i>	11	15	15	16	16	16	16	0	0
		<i>t</i>	-6	-15	-14	-6	-13	-12	-4	+4	+9
Йошкар-Ола (Марийская АССР)	1962/63	<i>H</i>	85	92	97	99	101	102	105	105	105
		<i>t₃</i>	-5	-6	-5	-5	-5	-4	-3	1	-
		<i>h</i>	38	34	56	59	57	58	62	13	0
		<i>t</i>	-9	-17	-15	-13	-16	-15	-5	+4	+7
Саранск (Мордовская АССР)	1962/63	<i>H</i>	127	130	142	145	148	148	148	150	150
		<i>t₃</i>	-	-9	-	-9	-9	-9	-7	-1	-
		<i>h</i>	24	23	25	28	40	36	32	13	0
		<i>t</i>	-9	-13	-14	-10	-14	-11	-4	+4	+11
Тихвин (Ленинградская область)	1965/66	<i>H</i>	28	28	28	25	10	0	0	-	-
		<i>t₃</i>	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	-	-
		<i>h</i>	75	73	72	72	78	75	0	-	-
		<i>t</i>	-23	-14	-4	-1	-8	-1	+4	-	+3,5
Емецк (Архангельская область)	1965/66	<i>H</i>	72	81	87	91	94	94	9	97	26
		<i>t₃</i>	-5	-6	-5	-3	-4	-3	-1	0	0
		<i>h</i>	48	48	50	53	59	58	20	24	30
		<i>t</i>	-30	-22	-21	-14	-16	-5	+2	-6	-1

почвы в оставшийся период зимы увеличивалась меньше, чем при установлении его на глубоко промерзшую почву. Отмечались даже отдельные случаи оттаивания почвы под снегом.



Рис. 32а. Изменение глубины промерзания почвы (см) за декаду в районах с высоким стоянием грунтовых вод на Европейской территории СССР.

Поправки на исходное промерзание

Исходное промерзание, см	0—16	17—48	49—79	80—110	111—140
Поправка, см	0	0,5	1,0	1,5	2,0

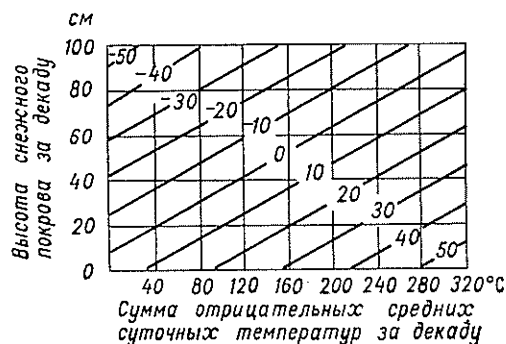


Рис. 32б. Изменение глубины промерзания почвы (см) за декаду в районах с глубоким стоянием грунтовых вод на Европейской территории СССР.

Поправки на исходное промерзание

Исходное промерзание, см	0—2	3—9	10—16	17—23	24—30	31—37	38—44	45—51
Поправка, см	0	—0,5	—1,0	—1,5	—2,0	—2,5	—3,0	—3,5
Исходное промерзание, см	52—58	59—65	66—72	73—79	80—86	87—93	94—100	
Поправка, см	—4,0	—4,5	—5,0	—5,5	—6,0	—6,5	—7,0	

Слабое промерзание почвы (менее 50 см) способствует сохранению под мощным снежным покровом температуры на глубине узла кущения, близкой к 0°C. При такой глубине промерзания почвы, как показали исследования М. И. Сумгина [17, 32], в зоне достаточного и избыточного увлажнения понижение температуры замедляется вследствие выделения большого количества тепла при замерзании воды на границе промерзания почвы и в более верхних ее слоях.

На основании изложенных закономерностей связи между высотой снежного покрова, глубиной промерзания и температурой почвы за один из важнейших показателей, характеризующих условия выпревания озимых культур, нами принята продолжительность залегания на полях снежного покрова высотой 30 см и более при глубине промерзания почвы менее 50 см. При таких условиях не только температура почвы на глубине узла кущения удерживается в пределах, при которых происходит выпревание растений, но и создаются условия почти полной темноты у поверхности листьев,

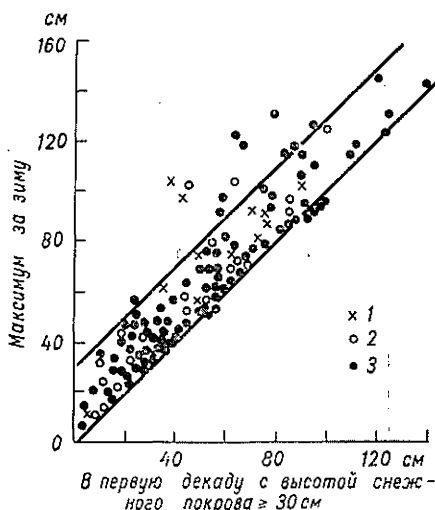


Рис. 33. Связь между максимальной глубиной промерзания почвы (см) за зиму и глубиной промерзания почвы в декаду установления на полях снежного покрова высотой 30 см и более.

Агрометстанции: 1 — Сарапул, 1935—1962 гг.; 2 — Горький, 1935—1962 гг.; 3 — нечерноземная зона РСФСР, 1944/45—1956/57 гг. и 1965/66 г.

так как прозрачность (светопроницаемость) снежного покрова невелика. Коэффициент ослабления проникновения солнечной радиации, по Н. Н. Калитину, равен 0,197 для сухого и 0,446 для влажного снега. Проникновение солнечной радиации в сухой снег практически ограничивается глубиной около 30 см, а во влажный — 10—15 см. При высоте сухого снежного покрова 14 см к поверхности почвы и зимующим растениям под ним проникает всего 7—10% радиации, вошедшей через поверхность снежного покрова. Исследование проникновения солнечной радиации в снежный покров, проведенное нами на агрометстанции Ройка (Горьковская область), подтверждают выводы, полученные другими авторами (табл. 38). Поэтому фотосинтез у растений при большой (30 см и больше) высоте снежного покрова происходить не может.

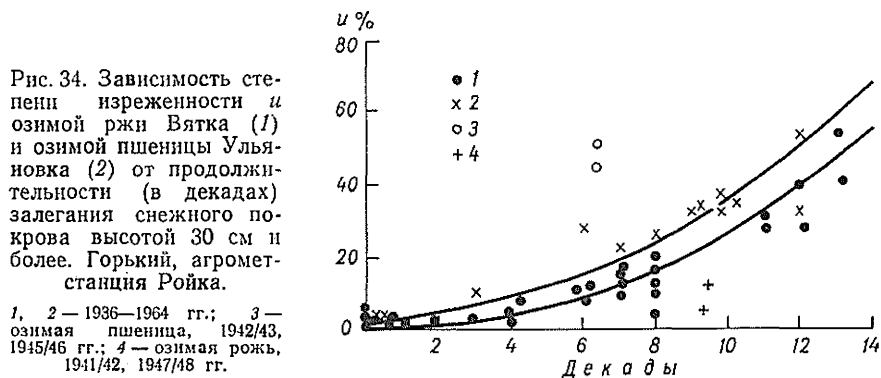
Зависимость изреженности озимых культур от продолжительности залегания снежного покрова высотой 30 см и более без учета глубины промерзания почвы, по данным агрометстанции Ройка, за период с 1936 по 1965 г. показана на рис. 34. Наблюдения про-

Таблица 38

Проникновение света (%) на различную глубину снежного покрова в зависимости от освещенности его поверхности (агрометстанция Ройка) [22]

Время измерения (ч)	Освещенность на поверхности снега (тыс. лк)	Глубина снежного покрова (см)				
		0	5	10	15	20
8	20,1	100	1,74	1,08	0,45	0,25
11	64,3	100	8,68	2,61	0,44	0,21
12	64,3	100	9,11	3,03	0,60	0,29
13	60,0	100	8,40	3,72	0,58	0,30

водились на опытных полях Горьковского сельскохозяйственного института, где уровень агротехники был достаточно высок.



Как видно на графике, процент гибели растений у озимой ржи Вятка, устойчивой к выпреванию, меньше, чем у озимой пшеницы, но связь имеет один и тот же вид. С увеличением числа декад с большим снежным покровом на полях озимых изреженность посевов увеличивается. Большое отклонение точек от линии связи в отдельные годы объясняется аномально низкой (1941/42 г.) или, наоборот, аномально высокой (1937/38, 1942/43, 1945/46 гг.) температурой воздуха в течение почти всего зимнего сезона, различной глубиной промерзания почвы и различным состоянием озимых посевов осенью. При очень хорошем состоянии (кустистости 3—4 побега) эти озимые гибнут меньше, чем озимые в фазе всходов или 3-й лист и особенно чем переросшие посевы.

Несколько лучше проявляется связь между изреженностью растений и числом декад с высотой снежного покрова 30 см и более при учете глубины промерзания почвы. Эта зависимость, по данным наблюдений на агрометстанциях Горький и Сарапул и

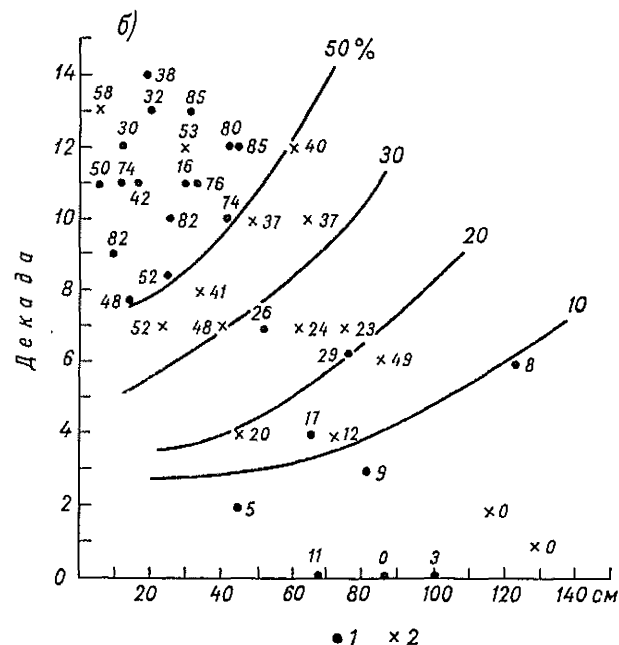
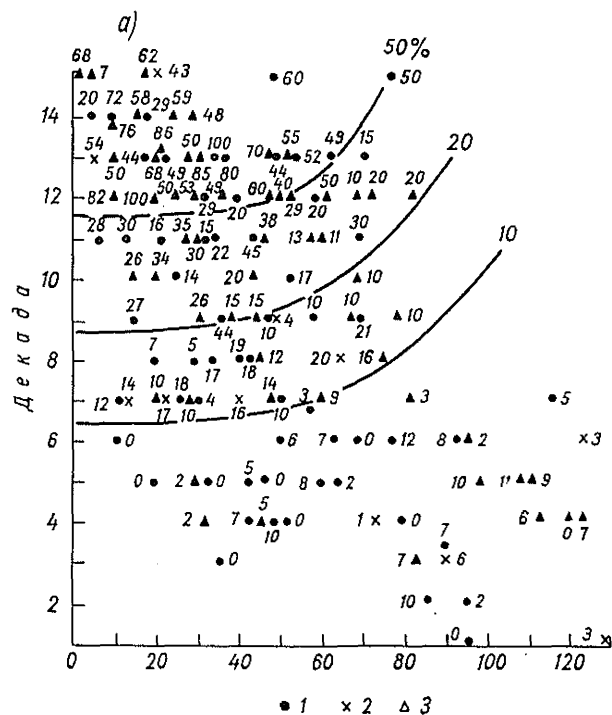


Рис. 35. Изреженность (%) озимых культур при различной глубине промерзания почвы (см) и продолжительности залегания (декады) снежного покрова высотой 30 см.

а — озимая рожь Вятка (1 — нечерноземная зона РСФСР, 1950—1955 гг., 2 — агрометстанция Горький, 3 — нечерноземная зона РСФСР, 1944—1946 гг.); б — озимая пшеница Ульяновка (1 — агрометстанция Сарapul, 2 — агрометстанция Горький).

сети метеорологических станций, расположенных в нечерноземной зоне Европейской территории СССР, представлена на рис. 35.

Как видно на графике (рис. 35 а), изреженность озимой ржи Вятка увеличивается при уменьшении глубины промерзания почвы и увеличении продолжительности периода с высотой снежного покрова 30 см и больше. Она наименьшая (менее 10%), если число декад с такой высотой менее 6, и наибольшая (более 50%) при 12 декадах и более. У озимой пшеницы гибель при таких же условиях оказалась большей (рис. 35 б).

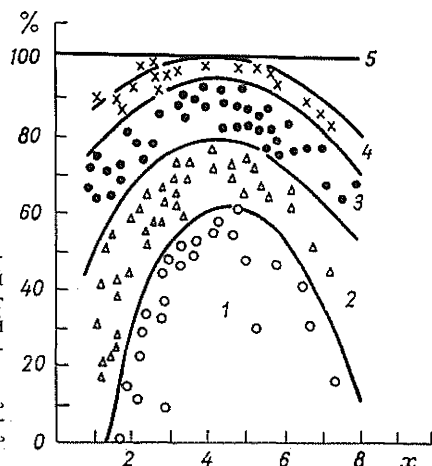


Рис. 36. Зависимость количества сохранившихся растений озимой ржи Вятка (%) от средней кустистости растений осенью x при различных условиях перезимовки.

Условия перезимовки: 1 — очень плохие, 2 — плохие, 3 — удовлетворительные, 4 — хорошие, 5 — очень хорошие.

Количество растений, сохранившихся при выпревании, в значительной степени зависит от состояния посевов после прекращения вегетации осенью. По результатам многолетних наблюдений, эта зависимость оказалась криволинейной (рис. 36). Как видно на рис. 36, наибольший процент растений при одних и тех же условиях зимовки сохраняется у хорошо развитых (со средней кустистостью четыре стебля) посевов. У слабо развитых и переросших посевов (со средней кустистостью меньше двух и более пяти стеблей) количество сохранившихся после перезимовки растений значительно уменьшается, причем особенно сильно при плохих и очень плохих условиях зимовки. Так, при удовлетворительных условиях зимовки у посевов со средней кустистостью четыре стебля сохраняется 90—100%, у посевов, имеющих два стебля,—85%, а один стебель—75% растений. Увеличивается также процент гибели у посевов со средним количеством стеблей у растений осенью более пяти. Последнее объясняется не только снижением зимостойкости у переросших осенью посевов (как это уже было показано ранее), но и значительными теплоизолирующими свойствами травостоя у переросших растений.

Как показали наши полевые опыты, проведенные на агрометстанции Белогорка, промерзание и минимальная температура почвы на глубине узла кущения, а также высота снежного покрова на поле с переросшими озимыми (посев 13 августа 1963 г. с междурядьем 15 см), имеющими очень густой травостой (средняя кустиность 7,5 побегов), существенно отличались от этих характеристик на полях с нормально развитыми озимыми (срок сева 2 сентября).

Даже при подкашивании переросших посевов осенью (уменьшении высоты их с 40 до 10 см) разница в максимальной за зиму глубине промерзания почвы составила около 50 см, в максимальной высоте снежного покрова — 11 см, в минимальной температуре почвы на глубине 3 см — 6,8°C (табл. 39).

При очень плохих условиях зимовки к весне у хорошо развитых озимых посевов (с четырьмя стеблями) сохраняется около 50% растений, а у озимых с двумя и семью стеблями — только 10%. Таким образом, если при удовлетворительных условиях количество сохранившихся растений с уменьшением числа стеблей от четырех до двух уменьшается на 10%, то при очень плохих условиях зимовки оно уменьшается на 40%.

При хороших условиях зимовки степень развития озимых осенью не сказывается на количестве сохранившихся растений ко времени возобновления вегетации весной. Количество растений весной, независимо от степени развития, равно или близко к количеству их осенью (95—100%). Также не имеет значения для озимых степень их развития и при исключительно тяжелых зимних условиях, при которых гибнут все растения независимо от их состояния осенью. Но такие условия зимовки на больших площадях (80—100%) посевов бывают в большинстве районов возделывания озимых культур очень редко (один раз в 20—30 лет).

Как уже указывалось, наиболее часто снижение урожайности озимых при выпревании происходит в результате гибели не растений, а значительной части стеблей у перезимовавших растений. Между количеством погибших стеблей и растений при выпревании существует довольно тесная связь ($r=0,91 \pm 0,03$). Уравнение связи между этими величинами, полученное по данным наблюдений на метеорологических станциях Верхне-Волжского УГМС Г. Н. Васенниной, имеет вид

$$y = 1,09x - 0,72, \quad (4)$$

где y — процент погибших стеблей, x — процент погибших растений. На рис. 37 показано изменение количества стеблей весной по сравнению с осенью у сохранившихся растений озимой ржи и озимой пшеницы при различных условиях перезимовки. На этом рисунке видно, что при хороших условиях зимовки количество

Таблица 39

Влияние густоты растительной массы озимых на высоту снежного покрова, глубину промерзания и минимальную температуру почвы на глубине узла кущения

Участок	Характеристика травостоя		Ноябрь			Декабрь			Январь		
	высота	кустистость	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Глубина промерзания почвы (см)

105	I	25	8,0		0	15	24	27	28	24	25	33
	II	10	7,5		0	10	17	26	25	25	25	55
	III	10	1,8		0	10	27	50	58	51	74	90

Высота снежного покрова (см)

	I	25	8,0		0	6	11	24	19	14	12	20
	II	10	7,5		0	5	13	20	17	10	10	15
	III	10	1,8		0	5	8	10	4	1	3	5

Минимальная температура почвы на глубине узла кущения (°C)

	I	25	8,0			-1,6	-2,0	-2,0	-0,8	-0,4	-2,0	-3,5
	II	10	7,5		+0,4	-1,2	-1,6	-1,2	-0,8	-0,4	-2,7	-4,6
	III	10	1,8	+0,2	0,0	-2,0	-2,2	-4,7	-0,4	-1,4	-10,0	-10,9

Участок	Характеристика травостоя		Февраль			Март			Апрель			За зиму
	высота	кустистость	1	2	3	1	2	3	1	2	3	

Глубина промерзания почвы (см)

I	25	8,0	35	40	52	60	68	74	69	61	0	74
II	10	7,5	57	63	72	75	78	81	79	75	0	81
III	10	1,8	97	103	111	117	123	129	130	128	126 ¹	130

Высота снежного покрова (см)

I	25	8,0	31	37	36	30	32	23	11	0	0	37
II	10	7,5	25	32	28	26	26	15	7	0	0	32
III	10	1,8	13	21	20	18	21	15	10	0	0	21

Минимальная температура почвы на глубине узла кущения (°C)

I	25	8,0	-0,4	-1,2	-1,2	-1,2	-1,6	-1,2	-0,4	0,0		-3,5
II	10	7,5	-1,2	-2,0	-2,0	-2,0	-2,7	-2,0	-0,4	0,0		-4,6
III	10	1,8	-2,9	-5,2	-3,1	-3,4	-4,8	-3,8	-0,8	-0,3		-10,9

¹ Полное оттаивание почвы 10 мая.

Примечание. Участки: I — посев 13 августа с междурядьем 40 см; II — посев 13 августа с междурядьем 15 см, но подкошенный до высоты 10 см; III — посев 2 сентября, перекрестный сев.

стеблей весной у перезимовавших растений, независимо от степени их развития осенью, всегда бывает большим, чем было осенью.

При слабом развитии растений осенью (с одним-двумя стеблями) число стеблей весной у сохранившихся растений за счет дополнительного кущения при любых условиях зимовки увеличивается. Растения, прекратившие вегетацию в фазе всходов, могут достигнуть кущения до 2—3 побегов, причем при плохих условиях зимовки, когда сохраняется очень мало растений и травостой у посевов сильно изрежен, кущение весной у слабо развитых посевов идет более интенсивно. Так как количество сохранившихся растений в этом случае бывает очень малым (см. рис. 36), то общее количество сохранившихся стеблей на поле оказывается у слабо развитых с осени посевов при плохих условиях зимовки меньшим, чем у хорошо развитых.

Представленные на рис. 37 связи построены по результатам зависимости между кустистостью озимых весной и осенью при различных условиях зимовки. Связь

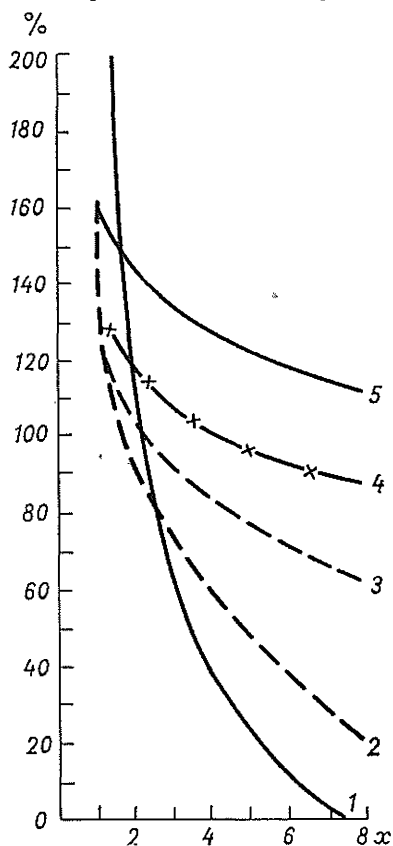


Рис. 37. Изменение количества стеблей (%) весной у сохранившихся растений в зависимости от коэффициента кущения их осенью x и числа декад с высотой снежного покрова $h \geq 30$ см и глубиной промерзания почвы ≤ 50 см.

Число декад: 1) 15 и более (условия зимовки очень плохие), 2) 13—14 (плохие), 3) 11—12 (неудовлетворительные), 4) 6—10 (удовлетворительные), 5) 5 декад и менее (хорошие).

между кустистостью озимых весной и осенью при одинаковых условиях зимовки прямолинейна и достаточно тесна (коэффициент корреляции $r=0,80 \div 0,96$). Оценка степени неблагоприятности условий зимовки при выпревании определялась в этих связях по продолжительности пребывания растений под снежным покровом высотой 30 см и более, установившимся при глубине промерзания почвы менее 50 см.

Связь между продолжительностью пребывания растений под мощным снежным покровом при слабом промерзании почвы

и количеством перезимовавших стеблей у хорошо развитых с осени посевов приведена на рис. 38. Эта зависимость получена по результатам пятилетних наблюдений (с 1950/51 по 1954/55 гг.) 33 метеорологических станций и трехлетних тематических наблюдений (с 1962 по 1964 г.) 25 агрометеорологических станций. Она хорошо подтвердилась также данными наблюдений агрометстанции Горький за большой ряд лет: с 1923/24 по 1962/63 г. и агрометстанций Сарапул, Кострома и Белогорка за 20 лет, а также материалами наблюдений 1970—1975 гг.

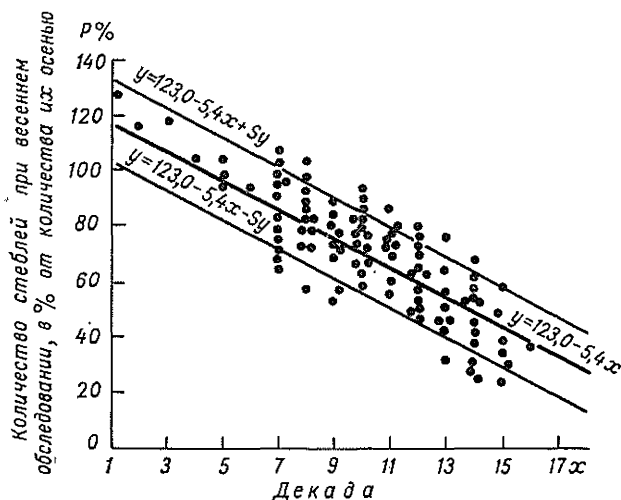


Рис. 38. Зависимость количества стеблей у хорошо развитой озимой ржи весной (% от количества их осенью) от продолжительности залегания на полях снежного покрова высотой 30 см и более.

Как видно на рис. 38, количество сохранившихся за зиму стеблей у озимой ржи обратно пропорционально продолжительности залегания снежного покрова высотой 30 см и более. Коэффициент корреляции между этими величинами $r=0,82 \pm 0,026$. Уравнение регрессии при предельных значениях от 1 до 16 декад и при P от 20 до 130% имеет вид

$$P=123,0-5,4x, \quad (5)$$

где P — количество сохранившихся за зиму стеблей (отношение количества стеблей на 1 м^2 при весеннем и осеннем обследованиях посевов, выраженное в процентах), x — продолжительность залегания мощного снежного покрова (высотой 30 см и более). Средняя квадратическая ошибка уравнения $S_P = \pm 12,8\%$, допустимая ошибка $(0,67\sigma) \pm 15\%$.

Зная продолжительность залегания на полях снежного покрова высотой 30 см и более, установившегося при глубине промерзания почвы 50 см и менее, по этому уравнению можно рассчитать процент сохранившихся стеблей у хорошо развитых осенью посевов с точностью $\pm 15\%$ с обеспеченностью 80%. Ошибка $\leq 20\%$ стеблей обеспечена в 91% случаев.

На основании полученной зависимости нами приняты следующие показатели агрометеорологических условий зимовки посевов при выпревании. Условия оцениваются как хорошие при залегании на полях снежного покрова высотой 30 см и более, установившемся при глубине промерзания почвы 50 см и менее, менее пяти декад; как удовлетворительные — в течение 5—8 декад, неудовлетворительные — 9—11 декад, плохие — 12—14 декад и очень плохие — при продолжительности этого периода 15 декад и более.

Используя эти показатели, по связям, указанным на рис. 36 и 37, определяется количество (%) сохранившихся растений и стеблей при выпревании у слабо развитых и переросших посевов. Например, если число декад со снежным покровом высотой 30 см и более было 13, то условия оцениваются как плохие: у хорошо развитых осенью посевов сохранится в среднем 63% растений, у посевов со средней кустистостью осенью два стебля — 45% растений, шесть стеблей — 60% растений (рис. 36). При таких условиях у хорошо развитых растений сохраняется 90% стеблей (рис. 37), у посевов со средней кустистостью осенью два стебля — 100%, а с кустистостью шесть стеблей — 70%.

Ожидаемое среднее количество стеблей на 1 м² весной у хороших посевов осенью составит $\frac{90 \cdot 63}{100} = 57\%$, у слабо развитых посевов $\frac{100 \cdot 45}{100} = 45\%$, у переросших $\frac{60 \cdot 70}{100} = 42\%$.

Выпревание озимых культур на полях, как уже отмечалось, происходит пятнами — в понижениях, у лесных полос и кустарников, в микрозападинах. Это объясняется тем, что здесь снег задерживается, высота и продолжительность его залегания больше и почва промерзает на меньшую глубину, чем на остальных участках поля.

Исследованием пространственной изменчивости высоты снежного покрова на полях занимались многие агрометеорологи [22, 23, 43]. Было установлено, что степень неравномерности укрытия озимых снежным покровом тем больше, чем меньше его средняя по полю высота. По данным сплошной снегосъемки на полях с озимыми культурами, специально проведенной под руководством А. А. Окушко на агрометстанциях Немчиновка (Московская область) и Бузулук (Оренбургская область), оказалось, что при большой средней высоте снежного покрова площади полей с высотой снега более 30 см даже в различных климатических зонах бывают близкими (табл. 40). При малой высоте снежного покрова

неравномерность его залегания на западе меньше, чем на востоке Европейской территории СССР.

Таблица 40

Количество промеров (%) с различной высотой снежного покрова на полях с озимыми в 1956 г.

Станция	Дата снего- съемки	Общее число проме- ров	Средняя высота снежного покрова (см)	Высота снежного покрова (см)								
				0	1-3	4-6	7-10	11-15	16-20	21-30	31-50	50
Немчиновка	21 I	816	34,8	0	0	0	0	0	2	27	69	2
	28 III	1136	9,8	28	6	13	12	16	12	9	4	0
Бузулук	17 II	1650	33,0	0	0	0	1	3	8	28	53	7

Коэффициент вариации высоты снежного покрова на полях с озимыми посевами ($C = \frac{\sigma}{M} \cdot 100\%$, где M — средняя высота снежного покрова, σ — среднее квадратическое колебание высоты его) в черноземной зоне Европейской территории СССР, на юге Западной Сибири, в северных и центральных областях Казахстана при малом значении средней по полю высоты достигает наибольших значений. Так, при средней высоте по снегосъемке около 5 см он равен $\pm (55 \div 75)\%$. В нечерноземной зоне (станция Торжок) при такой же средней высоте он оказался около $\pm 50\%$, а на западе (станция Минск), где снег выпадает при более высокой температуре воздуха и ложится на полях ровнее, $\pm (30 \div 40)\%$. С увеличением высоты снежного покрова коэффициент вариации уменьшается и колеблется в различных зонах в небольших пределах. При средней высоте 10 см он составил в Среднем Поволжье $\pm 37\%$, в Обояни $\pm 41\%$, Минске $\pm 49\%$, Торжке $\pm 40\%$, а при 15 см уменьшился в Обояни до $\pm 17\%$, Минске до 26% , а в Торжке до $\pm 10\%$.

Площадь поля (%) с заданной высотой снежного покрова определяется путем подсчета количества промеров с этой высотой при снегосъемке. Высоту каждого промера можно принять за показатель укрытия снежным покровом 1% площади поля.

В районах с длительным залеганием мощного снежного покрова, где озимые страдают от выпревания, важно знать площадь, на которой высота его 30 см и более. Поэтому по результатам снегосъемок на полях с озимыми с 1934/35 по 1964/65 г. на станциях, расположенных на Верхней Волге и на северо-западе ЕТС, получена кривая вероятности промеров с высотой снежного покрова 30 см и более при его различной средней высоте по снегосъемке (рис. 39). Снежный покров высотой 30 см и более залегает на всей площади поля только при средней высоте его по снего-

съемке 45 см, а при 16 см высота его на всем поле менее 30 см. Когда средняя высота по снегосъемке равна 30 см, озимые находятся под снежным покровом высотой 30 см и более на 40% площади поля. Это распределение по полям снежного покрова учитывается при определении площади поля, где возможна изреженность растений, и при составлении прогнозов выпревания озимых культур.

На состояние озимых культур в районах с мощным снежным покровом, однако, оказывает влияние не только продолжительность периода залегания мощного снежного покрова на полях, но и другие факторы. К ним, как уже отмечалось, относятся в первую оче-

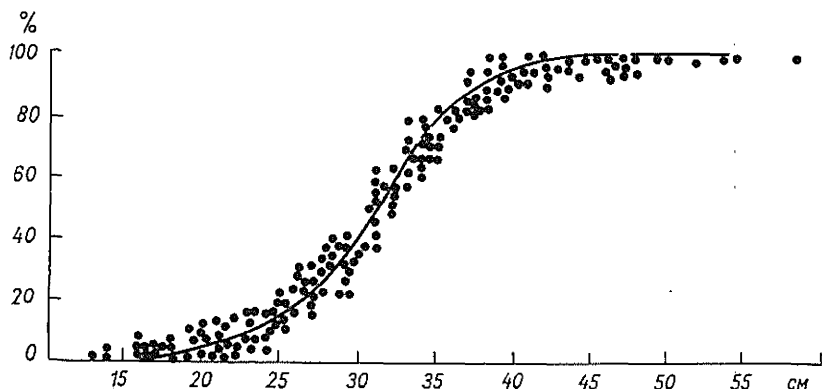


Рис. 39. Изменение площади поля (%) с высотой снежного покрова 30 см и более при различной средней высоте его (см) по снегосъемке.

редь температура воздуха, глубина промерзания почвы и температура почвы на глубине узла кущения, которая является комплексным показателем действия всех основных агрометеорологических факторов и густоты травостоя самих озимых.

В годы с большой отрицательной аномалией температуры воздуха (1941/42, 1947/48, 1968/69 и др.) в период залегания снежного покрова 30 см и более процент сохранившихся стеблей оказывается большим, чем в годы с положительной аномалией температуры воздуха (1937/38, 1943/44, 1945/46 и др.). Это объясняется тем, что в такие годы температура в снежном покрове на глубине травостоя посевов удерживается тоже в пределах, более низких, чем обычно.

Влияние температуры воздуха на состояние посевов при перезимовке учитывается путем введения в результаты, полученные при расчете по формуле $P = 123,0 - 5,4x$ (или рис. 38), поправки Δt (%), величина которой определяется по табл. 41. Значение поправки Δt получено эмпирическим путем по формуле $\Delta t = c \sqrt{\sum t}$ (где c —

Таблица 41

Поправка Δt (%) к количеству сохранившихся стеблей при различных значениях продолжительности периода залегания снежного покрова n высотой 30 см и более и суммы температур воздуха $\sum t$ за этот период

Число декад n	$\sum t$ за период n (°C)																		
	-100	-200	-300	-400	-500	-600	-700	-800	-900	-1000	-1100	-1200	-1300	-1400	-1500	-1600	-1700	-1800	-1900
1	0	3	7	12	15	19	23	28											
2	-2	0	3	8	13	17	20	25	30										
3	-4	-3	0	4	9	14	18	22	27	32									
4	-6	-6	-3	0	4	10	16	20	24	29	33								
5	-7	-8	-7	-4	0	5	10	17	21	30	30	35							
6	-8	-10	-10	-8	-4	0	5	11	18	22	26	32	36						
7	-9	-11	-12	-12	-9	-5	0	6	12	19	23	28	32	37					
8	-10	-13	-14	-14	-13	-10	-5	0	6	13	20	25	29	33	39				
9		-14	-15	-16	-15	-14	-10	-6	0	6	13	21	25	30	35	40			
10			-17	-18	-18	-17	-16	-11	-6	0	6	14	22	26	31	36	41		
11				-20	-20	-19	-18	-17	-12	-6	0	7	14	22	27	32	37	42	
12					-20	-22	-20	-20	-18	-13	-6	0	7	15	22	28	33	38	44
13						-24	-23	-22	-21	-19	-13	-7	0	7	16	24	29	34	40
14							-26	-25	-24	-22	-20	-14	-7	0	8	16	25	29	35
15								-28	-27	-26	-23	-21	-14	-7	0	8	16	25	31
16									-30	-29	-26	-25	-22	-15	-8	0	8	17	26

коэффициент, t — средняя суточная температура воздуха) на следующем основании:

1) влияние температуры воздуха при выпревании сказывается на растениях в течение всего периода залегания снежного покрова высотой 30 см и более, поэтому значение температуры воздуха при расчете поправки выражено интегральной величиной — корнем квадратным из суммы ее за весь этот период;

2) поправка в зависимости от абсолютного значения суммы температур меняет знак, так как при очень теплой погоде — малой сумме температур — процессы выпревания усиливаются, а при очень холодной погоде — большой сумме, — наоборот, замедляются. В связи с этим поправка взята с коэффициентом c , значение которого рассчитано по уравнению: $c = \sin x$, где x — сумма температур за период залегания снежного покрова высотой 30 см и более. Величина c ограничена пределами от -1 до $+1$;

3) сумма температур зависит не только от средней суточной температуры воздуха, но и от продолжительности периода со снежным покровом высотой 30 см и более. Поэтому Δt рассчитано и дано в табл. 41 отдельно для различной продолжительности периода (от 1 до 16 декад) со снежным покровом высотой 30 см и более.

Как видно из данных табл. 41, в теплые зимы ($\sum t = -500$, -900°C) количество сохранившихся после перезимовки стеблей у озимых оказывается на 20—30% меньше, чем в суровые зимы ($\sum t = -1500$, -1900°C).

Минимальная температура почвы на глубине узла кущения озимых определяется комплексом агрометеорологических факторов [13, 22, 43]. Значение ее поэтому является интегральным показателем агрометеорологических условий зимовки озимых культур как при небольшом, так и при мощном снежном покрове. Ранее было показано, что состояние конуса нарастания у растений зимой изменяется в зависимости от температуры почвы на глубине узла кущения. При температуре почвы под мощным снежным покровом в течение длительного периода выше -5°C и особенно при температуре, близкой к 0°C , происходит рост конуса без дифференциации, в результате чего в дальнейшем у части наиболее развитых с осени побегов колос совсем не образуется или оказывается укороченным, с небольшим числом колосков и зерен. Большинство таких побегов весной и в первой половине лета отмирает (табл. 42). Происходит также полная гибель некоторого количества растений.

Статистический анализ результатов многолетних наблюдений на метеорологических станциях над состоянием озимых культур и агрометеорологическими условиями их зимовки позволил установить количественные зависимости изреженности посевов при выпревании от минимальной температуры почвы на глубине узла

Таблица 42

Изменение количества стеблей у озимой ржи сорта Вятка в зависимости от продолжительности периода с высотой снежного покрова $h \geq 30$ см

	Год	Количество декад с $h \geq 30$ см	Количество стеблей на 1 м ²			
			осенью	весной	на фазу	
					колошение	молочная спелость
Шуя	1964/65	5	$\frac{1281}{100}$	$\frac{1267}{99}$	$\frac{1190}{93}$	$\frac{1120}{87}$
	1965/66	7	$\frac{903}{100}$	$\frac{630}{70}$	$\frac{540}{60}$	$\frac{540}{60}$
	1967/68	12	$\frac{1848}{100}$	$\frac{1127}{61}$	$\frac{392}{21}$	$\frac{392}{21}$
Сарапул	1964/65	10	$\frac{1043}{100}$	$\frac{1113}{106}$	$\frac{700}{67}$	$\frac{658}{63}$
	1967/68	14	$\frac{2072}{100}$	$\frac{1470}{71}$	$\frac{392}{19}$	$\frac{388}{19}$
	1965/66	8	$\frac{665}{100}$	$\frac{642}{96}$	$\frac{476}{73}$	$\frac{413}{62}$
Лух	1967/68	12	$\frac{1334}{100}$	$\frac{1526}{83}$	$\frac{588}{32}$	$\frac{532}{29}$
Можга	1967/68	15	$\frac{1008}{100}$	$\frac{616}{61}$	$\frac{343}{34}$	$\frac{343}{34}$
Приволжск	1967/68	8	$\frac{1022}{100}$	$\frac{1127}{110}$	$\frac{1050}{103}$	$\frac{1029}{101}$
Селты	1964/65	12	$\frac{1080}{100}$	$\frac{1240}{115}$	$\frac{560}{52}$	$\frac{560}{52}$
	1967/68	13	$\frac{1560}{100}$	$\frac{1102}{72}$	$\frac{532}{34}$	$\frac{532}{34}$
Калуга	1965/66	5	$\frac{329}{100}$	$\frac{476}{145}$	$\frac{532}{162}$	$\frac{350}{108}$
Мосальск	1965/66	4	$\frac{360}{100}$	$\frac{408}{113}$	—	$\frac{342}{98}$

Примечание. Количество стеблей на 1 м² дано в числителе в абсолютных единицах, в знаменателе — в процентах.

кушения с учетом состояния растений в момент прекращения вегетации их осенью. Уравнение регрессии для озимой ржи (сорта Вятка, Вятка улучшенная и Вятка 2) имеет вид:

$$u = 59,07 + 6,82t_3 + 0,22t_3^2 + 5,14k - 0,40k^2, \quad (6)$$

где u — изреженность посевов весной (%), t_3 — минимальная температура почвы на глубине узла кушения за период с высотой снежного покрова 30 см и более, k — средний по полю коэффициент кушения растений осенью. Корреляционное отношение связи $\eta = 0,75$, ошибка уравнения $\leq 15\%$ обеспечена в 94% случаев. Уравнение действительно, когда t_3 выше -10°C , а $k = 1 \div 4$. При кустистости более четырех побегов знак коэффициента регрессии у k изменяется на обратный — изреженность увеличивается с увеличением кустистости посевов.

Из уравнения видно, что при выпревании влияние температуры

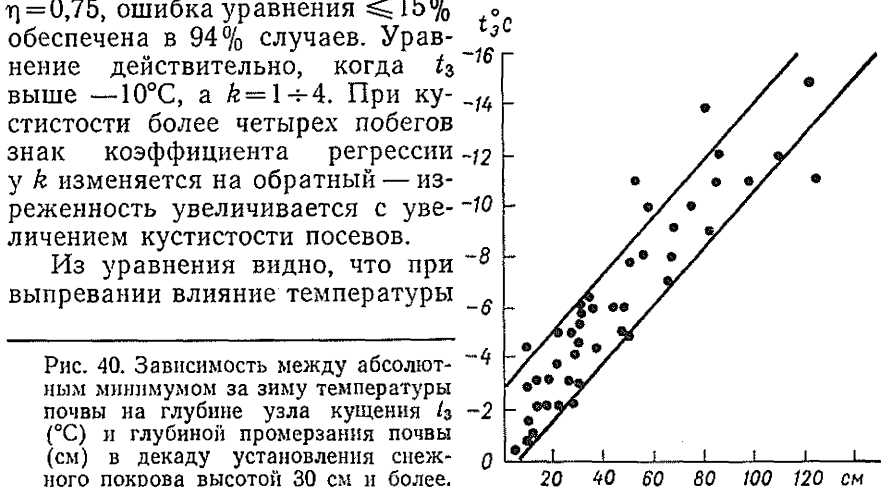


Рис. 40. Зависимость между абсолютным минимумом за зиму температуры почвы на глубине узла кушения t_3 ($^\circ\text{C}$) и глубиной промерзания почвы (см) в декаду установления снежного покрова высотой 30 см и более.

почвы на растения выражается, как и при вымерзании, параболической зависимостью, но с обратным знаком — чем выше температура, тем больше изреженность посевов весной.

Минимальная температура почвы на глубине узла кушения тесно связана с глубиной промерзания почвы. Коэффициент корреляции (r) между этими элементами, рассчитанный по данным многочисленных измерений на метеорологических станциях, равен 0,80—0,90. При этом с увеличением высоты снежного покрова влияние на температуру почвы температуры воздуха уменьшается, а глубина промерзания почвы увеличивается.

Зависимость между абсолютным минимумом температуры почвы на глубине узла кушения озимых и глубиной промерзания почвы в декаду образования на полях мощного снежного покрова (высотой 30 см и более), по данным метеорологических станций, расположенных в нечерноземной зоне Европейской территории СССР, за зиму 1965/66 г., показана на рис. 40.

Как видно на рисунке, при неглубоком промерзании почвы (менее 50 см) абсолютный минимум температуры почвы на

глубине узла кушения за всю зиму не опускался ниже $-8,5^{\circ}\text{C}$, а в большинстве случаев был в пределах 0, -6°C . При такой температуре почвы вымерзания озимых не могло произойти. Изреженность же озимых в эту зиму оказалась очень большой (более 50%).

Сезонный ход минимальной температуры почвы на глубине узла кушения имеет определенные закономерности. Исследование его по данным 40 метеорологических станций с 1949/50 по 1969/70 г., а также ряда агрометстанций (Горький, Немчиновка, Белогорка, Чишмы и др. с 1939/40 по 1969/70 г.) показало, что минимальная температура почвы в первой половине зимы понижается, а начиная со второй половины февраля, как правило, постепенно повышается. Эта закономерность также подтвердилась результатами наблюдений массовой сети метеорологических станций с 1970 по 1976 г.

Корреляционный анализ результатов многолетних наблюдений позволил нам установить, что абсолютный минимум температуры почвы на глубине 3 см за зиму на ЕТС в 97% случаев наблюдается до 20 февраля и лишь в 3% случаев он бывает на $2-3^{\circ}\text{C}$ ниже после этой даты. Коэффициент корреляции между абсолютной минимальной температурой почвы на глубине 3 см за зиму и значением ее на 1 января оказался равным 0,68; на 1 февраля 0,73, а на 20 февраля 0,90.

В районах, где высота снежного покрова больше 30 см, суточный и сезонный ход температуры почвы на глубине узла кушения сглаживается. Температура почвы в период залегания снежного покрова высотой 30 см и более, образовавшегося на полях при небольшой (менее 50 см) глубине промерзания почвы, колеблется в пределах $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Абсолютный минимум ее за зиму обычно не опасен для озимых в начале зимы, до установления на полях мощного снежного покрова. Оттаивание почвы происходит раньше схода снежного покрова весной, а иногда и зимой. Это усиливает процессы выпревания растений, так как температура в верхнем слое почвы под снегом при этом длительный период бывает равной и даже несколько выше 0°C .

При использовании сведений о минимальной температуре почвы на глубине узла кушения необходимо учитывать ее большую пространственную изменчивость. Степень этой изменчивости определяется главным образом неравномерностью распределения на полях травостоя озимых, увлажнения, глубины промерзания почвы и особенно высоты снежного покрова.

Коэффициент вариации C_v , по данным наших наблюдений на агрометстанциях Елшанка (Оренбургская область) и Нансен (Саратовская область) в 1951—1954 гг., при полном отсутствии снежного покрова составил 12—14%. При установлении на полях с озимыми снежного покрова высотой менее 10 см C_v значительно воз-

растал (до 20—40%), но при дальнейшем ее увеличении (до 20 см и более) опять снижался до 12—14% [15, 16].

Величина среднего квадратического отклонения σ минимальной температуры почвы, рассчитанная по результатам измерения ее в 30 точках одного поля, по данным агрометстанций Добеле, Минск, Глухов, Чишмы, в зависимости от высоты снежного покрова и значений t_3 колебалась в пределах 0,6—3,0°C. При высоте снежного покрова более 10 см σ , по данным В. Ф. Никитина (Институт экспериментальной метеорологии), составляла 1,5°C. Такие большие значения σ минимальной температуры почвы на глубине узла кущения указывают на большую пространственную изменчивость этого элемента даже на одном поле и на необходимость учитывать значение этой изменчивости при определении ожидаемой площади с погибшими посевами озимых культур весной.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗИМОВКИ И СОСТОЯНИЯ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР В РАЙОНАХ С МОЩНЫМ СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ

На основании количественных связей между состоянием озимых культур весной и основными агрометеорологическими факторами (продолжительностью периода залегания на полях снежного покрова высотой 30 см и более при слабом промерзании почвы — 50 см и менее — и минимальной температурой почвы на глубине 3 см за этот период t_3) получена количественная оценка агрометеорологических условий, при которых происходит выпревание озимых культур (табл. 43). Условия оцениваются как очень плохие, если мощный снежный покров 30 см и более установился на слабо промерзшей почве (50 см и менее) и удерживался на полях 15 декад и более при t_3 за этот период 0, —1°C. Хорошие условия для зимовки посевов создаются, когда эти показатели соответственно находятся в пределах 1—5 декад и —7, —8°C. Очень хорошие условия зимовки для озимой ржи и озимой пшеницы в нечерноземной зоне ЕТС бывают, когда снежный покров не превышает 30 см и минимальная температура почвы на глубине 3 см за зиму сохраняется в пределах —8, —10°C [22].

Таблица 43

Оценка агрометеорологических условий, при которых происходит выпревание озимых культур

Условия	Число декад с $h \geq 30$ см	Средняя минимальная температура почвы t_3 за период с $h \geq 30$ см	Средние по полю	
			изреженность посевов весной (%)	количество стеблей весной (% от их количества осенью)
Очень плохие, 1 балл	≥ 15	0, —1	> 50	≤ 40
Плохие, 2 балла	11—14	—2, —4	30—50	40—60
Удовлетворительные, 3 балла	6—10	—5, —6	10—30	60—110
Хорошие, 4 балла	1—5	—7, —8	5—10	110—130
Очень хорошие, 5 баллов	0	—9, —10	0—5	> 130

Связь между кустистостью озимых весной и осенью при одинаковых условиях перезимовки прямолинейная и достаточно тесная [17], коэффициент корреляции $r=0,88 \div 0,96$.

Балловым оценкам агрометеорологических условий зимовки соответствует определенное состояние озимых посевов весной, количественные показатели которого даны в табл. 43 и 44. Последние установлены с учетом влияния на растения зимних повреждений и в зависимости от их интенсивности снижения урожайности озимых [39, 40]. В нечерноземной зоне зависимость между урожайностью озимых культур и изреженностью побегов к началу весны выражается коэффициентом корреляции $0,75 \pm 0,07$ [6].

Таблица 44

Зависимость между средним числом побегов (средней кустистостью) весной (через 10 дней после возобновления вегетации) y и осенью x у озимых культур при различных условиях зимовки

Оценка (баллы)	Условия зимовки	Число декад с $h \geq 30$ см	Уравнение	Средняя квадратическая ошибка уравнения E_y	Коэффициент корреляции r
4	Хорошие	1—5	$y = 0,99x + 1,02$ (7)	0,54	0,92
3	Удовлетворительные	6—10	$y = 0,90x + 0,40$ (8)	0,35	0,96
2	Плохие	11—12	$y = 0,52x + 1,02$ (9)	0,32	0,88
		13—14	$y = 0,07x + 1,66$ (10)	0,30	0,90
1	Очень плохие	≥ 15	$y = -0,47x + 3,67$ (11)	0,21	-0,94

Связь урожайности озимой ржи сортов Вятка, Вятка 2 и озимой пшеницы сортов Мироновская 808 и ППГ-186 с количеством сохранившихся у них стеблей весной по сравнению с осенью, рассмотренная в работах [17, 22], оказалась достаточно тесной ($r=0,80 \div 0,86$). Количество стеблей на 10-й день после возобновления весенней вегетации характеризует не только состояние посевов весной, но и условия зимовки растений. Оно учитывает степень зимних повреждений и возможные последствия их у сохранившихся растений в дальнейший период жизни. Число стеблей весной по сравнению с осенью при хороших условиях может увеличиться (за счет весенней кустистости), по нашим данным, на 30—50% у хорошо развитых с осени растений (3—4 побега) и на 100—200% у слаборазвитых (1—2 побега). При плохих условиях зимовки, особенно при повреждении озимых в результате выпревания, количество стеблей весной в среднем по полю оказывается значительно меньшим, чем оно было осенью [22].

У сильно изреженных посевов в результате выпревания растений зимой последствия проявляются в большей степени.

Снижение урожайности озимых в нечерноземной зоне в теплые и многоснежные зимы объясняется главным образом гибелью от выпревания большого количества стеблей, образовавшихся осенью, которые являются в несколько раз более продуктивными, чем стебли, появившиеся весной.

На полях НИИ сельского хозяйства центральных районов нечерноземной зоны при высоком уровне агротехники урожайность озимой пшеницы ППГ-186 и ППГ-529 колебалась от 26 до 33 ц/га, когда число живых стеблей весной составляло 65—93% осеннего, и от 40 до 45 ц/га, когда весной число стеблей было 139 и 154% осеннего.

Многолетние наблюдения на агрометстанции Ройка (Горький) с 1933 по 1963 г. показали, что урожайность озимой ржи Вятка и озимой пшеницы Ульяновка при одинаковой кустистости осенью имеет прямолинейную связь с количеством сохранившихся после перезимовки стеблей. Коэффициент корреляции между этими величинами при слабом развитии растений осенью (в фазах всходы, 3-й лист) оказался равным $0,88 \pm 0,02$, а при хорошем развитии (3—4 побега) $0,80 \pm 0,03$. Это позволило нам по данным наблюдений массовой сети метеорологических станций (1962—1970 гг.) рассчитать на ЭВМ зависимость между урожайностью озимых зерновых культур и числом стеблей на 10-й день после возобновления вегетации весной. Запасы влаги в почве весной в нечерноземной зоне, как правило, бывают хорошими, поэтому в уравнения они не введены.

Аналитически эта зависимость выражается уравнениями:

1) при слабом развитии осенью растений озимой ржи сортов Вятка и Вятка 2

$$y = 0,108P - 1,3, \quad (12)$$

где y — урожайность (ц/га), P — отношение количества стеблей весной к количеству их осенью в среднем по полю, умноженное на 100; $r = 0,80 \pm 0,03$; n — число случаев, равное 55. Средняя квадратическая ошибка уравнения $E_y = \pm 1,58$ ц/га; размерность коэффициента у P — ц/га;

2) при раскустившихся посевах озимой ржи

$$y = 0,063kP, \quad (13)$$

k — средний коэффициент кущения растений осенью; $n = 150$, $r = 0,84 \pm 0,04$; $E_y = \pm 2,3$ ц/га.

Для озимой пшеницы сорта Мироновская 808 эта связь выражается уравнениями:

1) у нераскустившихся осенью посевов

$$y = 0,12P + 2,00; \quad (14)$$

$n = 65$, $r = 0,89 \pm 0,02$, $E_y = \pm 2,1$ ц/га;

2) у раскустившихся осенью посевов

$$y = 0,0866kP + 1,02; \quad (15)$$

$n=180$, $r=0,86 \pm 0,01$, $E_y = \pm 22,5$ ц/га.

Условные обозначения те же. Уравнения действительны при $k \leq 6$, P от 30 до 200%.

Среднее количество стеблей весной определяется при использовании этих уравнений по данным осеннего и весеннего обследований посевов и уравнению

$$P = \frac{k_v}{k_o} \left(100 - \frac{\bar{u} S_v}{100} \right), \quad (16)$$

где k_v — коэффициент кущения озимых весной, k_o — то же осенью, $\bar{u}$ — средняя из четырех повторностей изреженность озимых (%) по данным весеннего обследования посевов, S_v — площадь поля (%) с этой изреженностью. Эти величины могут быть также рассчитаны по зависимостям, приведенным выше (рис. 36, 37, 38).

По результатам аналогичных расчетов, сделанных для различных значений кустистости растений осенью и условий перезимовки, были получены количественные показатели оценки состояния озимых культур весной на конкретных полях (табл. 45). При этом было принято, как уже указывалось, определенное соотношение между балловой оценкой состояния посевов и возможной урожайностью озимых культур при оптимальных запасах влаги в метровом слое почвы весной и современном уровне агротехники (табл. 46).

Таблица 45

Количественные показатели оценки состояния (баллы) посевов озимой ржи сорта Вятка (I) и озимой пшеницы сорта Мироновская 808 (II) весной на конкретных полях

Площадь S_v (%) с погибшими посевами	Среднее по полю количество стеблей весной P (% от их осеннего количества)	Коэффициент кустистости растений осенью (число побегов)											
		1		2		3		4		5		6	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
>50	≤ 50	1	1	2	1	2	2	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3
30—50	≤ 100	2	1	3	3	3	3	4	4	5	5	4	5
<30	≤ 150	2	2	3	3	4	4	5	4	5	5	4	5
0	≥ 100	3	3	4	3	5	4	5	5	5	5	4	4

Используя табл. 45 и 46, можно дать объективную оценку состояния озимых посевов на конкретных полях осенью и весной. Таким же образом оценивается состояние озимых культур на

Таблица 46
Соотношение между балловой оценкой состояния озимых культур
весной и их урожайностью (ц/га)

Культура	Оценка состояния (балл)				
	1	2	3	4	5
Озимая пшеница	< 8	8—12	13—25	26—32	> 32
Озимая рожь	< 6	6—10	11—17	18—25	> 25

конкретных полях при составлении прогнозов перезимовки посевов.

Оценка состояния озимых культур зимой, когда они находятся под снежным покровом, может быть дана также по результатам анализа состояния проб растений, взятых с полей в различные периоды зимовки, методом биологического контроля или отращивания их в монолитах.

Анализ результатов отращивания проб растений озимых культур монолитным способом на метеорологических станциях за последние 20 лет позволил установить точность определения этого метода. Результаты отращивания растений за каждый срок взятия проб зимой (25 декабря, 25 января и 23 февраля) были сопоставлены между собой и с результатами весеннего обследования — изреженностью посевов после перезимовки. Оказалось, что в годы с благоприятными условиями зимовки изреженность посевов по результатам отращивания проб, взятых с полей в разные сроки, близка к нулю и не превышает 10—15% при весеннем обследовании озимых.

В нечерноземной зоне в годы, когда озимые были подвержены выпреванию, средний процент изреженности посевов по результатам отращивания проб, взятых с полей в декабре и январе, также был небольшим (0—10). Изреженность этих посевов в дальнейшем увеличивалась, особенно после схода снежного покрова весной (в апреле). Это наглядно подтверждается данными за 1965/66 г. нечерноземной зоны, когда гибель озимых от выпревания была наибольшей за период с 1946 по 1975 г. (табл. 47). Снежный покров установился в 1965 г. на талой или слабoproмерзшей почве еще в ноябре, высота его в течение 10—14 декад превышала 30 см (табл. 48). Минимальная температура почвы на глубине узла кушени удерживалась в течение почти всей зимы в пределах 0, —2°C, абсолютный минимум ее на преобладающей территории не опускался ниже —8°C. Растения зимой были сильно истощены, конус нарастания у главных побегов очень вытянулся (до 1,5 мм вместо 0,30 мм по норме). В конце зимы и в период снеготаяния значительное количество растений, особенно листьев и побегов,

Таблица 47

Средняя изреженность озимой ржи Вятка по результатам отращивания
и весеннего обследования посевов в 1965/66 г. (%)

Станция	Количество декад с высотой снежного покрова $h \geq 50$ см	Глубина промерза- ния почвы (см) при высоте снежного покрова $h \geq 30$ см	Кустис- тость посевов осенью	Средняя изреженность (%) из четырех проб при:					Причина гибели растений
				отращивании				весеннем обследова- нии	
				25 XII	25 I	23 II	15 III—10 V		
Макарьев	12	28	1,0	0	18	39	48	50	Выпревание
Солигалич	10	10	2,0	0	6	6	—	31	То же
Кострома	9	31	1,5	12	5	13	28	29	"
Шахунья	9	67	1,5	1	0	3	4	6	"
Шарья	10	50	1,5	7	12	11	41	40	Выпревание
Ройка	9	27	2,1	2	2	2	7	10	То же
Курмыш	3	125	2,0	4	5	8	9	12	Вымерзание
Починки	4	120	2,9	0	0	0	0	1	
Арзамас	2	98	1,4	0	1	0	1	2	
Лукоянов	5	82	1,9	0	0	0	0	2	
Уни	13	52	1,7	0	7	17	—	29	Выпревание
Кумены	13	50	1,5	0	28	20	—	36	То же
Мураши	13	58	1,0	0	18	17	—	70	"
Воткинск	12	48	1,0	0	50	66	—	75	"
Сарапул	10	23	2,5	3	6	6	12	24	"
Ижевск	11	30	2,5	0	1	1	—	35	"
Волхов (1966/67 г.)	14	10	2,7	0	0	0	28	26	"
Юшкар-Ола (1966/67 г.)	10	24	3,4	4	12	17	15	27	"

оказалось поврежденным грибными заболеваниями и погибло (табл. 49). Урожайность озимой ржи в 1966 г. в связи с этим оказалась наименьшей за период с 1960 по 1975 г.

Таблица 48
Характеристика условий зимовки озимых культур в 1965/66 г.

Область	Станция	Число декад с высотой снежного покрова $h \geq 30$ см	Максимальная		Минимальная за зиму температура на глубине узла кушения
			высота снежного покрова (см)	глубина промерзания почвы (см)	
Архангельская	Емецк	11	81	44	-6,0
Вологодская	Вологда-Молочная	9	77	33	-4,5
	Бабаево	14	106	35	-3,0
Ивановская	Шуя	7	76	37	-5,0
	Юрьевец	9	72	57	-7,9
	Иваново	7	75	57	-1,9
Костромская	Пыщуг	12	83	30	-1,0
	Макарьев	12	90	28	-3,0
	Галич	9	108	52	-4,9
	Солигалич	10	98	20	-4,5
Горьковская	Ройка	9	76	34	-4,1
	Ветлуга	11	105	45	-4,5
	Красные Баки	8	94	30	-6,0
Кировская	Котельнич	9	82	93	-5,9
	Даровское	14	87	57	-10,0
	Нагорск	13	72	66	-9,1
	Уржум	12	89	81	-8,3

Аналогичным образом изменялась в течение зимы изреженность озимых посевов и в другие неблагоприятные для перезимовки растений годы (1957/58, 1967/68, 1968/69, 1971/72, 1973/74).

В районах, где посевы страдают от выпревания, результаты отращивания проб растений, взятых с полей в декабре и январе, совершенно не характеризуют состояние озимых культур. Коэффициент корреляции r между результатами весеннего обследования и отращивания проб растений в декабре равен 0,12, а в январе 0,25. Отращивание растений, взятых с полей 23 февраля, может быть использовано для оценки состояния озимых культур как на эту дату, так и весной ($r=0,98 \pm 0,01$). Однако необходимо учитывать, что изреженность весной часто бывает значительно больше, чем в феврале (Уни, Мураши, Сарапул, Ижевск, 1965/66 г., см. табл. 47).

Состояние посевов зимой, так же как осенью и весной, должно оцениваться не только с учетом изреженности растений в пробах,

Таблица 49

Характеристика густоты стеблестоя озимых культур в 1965/66 г.

Область	Станция	Количество стеблей на 1 м²					Количество стеблей (%) в весенне-летний период по сравнению с осенью			
		осенью	весной	на дату наступления фазы:			весной	на дату наступления фазы:		
				выход в трубку	колошение	молочная спелость		выход в трубку	колошение	молочная спелость
Архангельская	Емецк	1238	1120	1120	504	532	90	90	41	44
Вологодская	Вологда-Молочная	924	469	581	581	462	51	63	63	50
	Бабаево	973	280	280	343	343	29	29	35	35
Ивановская	Шуя	903	630	630	540	540	70	70	60	60
	Юрвец	1056	1224	1224	1188	1188	112	112	111	111
	Иваново	889	690	690	472	497	78	78	53	56
Костромская	Пыщуг	875	475	357	210	329	54	75	24	38
	Макарьев	434	266	266	273	245	61	61	63	57
	Галич	1407	595	427	406	420	42	30	29	30
	Солнгалич	658	301	420	343	378	46	64	52	57
Горьковская	Ройка	1120	695	695	490	574	62	62	44	51
	Ветлуга	917	924	903	812	805	101	99	89	88
	Красные Бакн	742	574	574	574	574	77	77	77	77
Кировская	Котельнич	245	182	252	210	210	74	102	86	86
	Даровское	1071	623	644	336	375	58	60	31	35
	Нагорск	798	602	567	543	543	76	71	68	68
	Уржум	973	889	803	665	—	91	82	68	—

но и с учетом размеров площади, на которой она произошла [17, 18]. Последняя определяется по степени укрытия полей снежным покровом различной высоты. В районах, подверженных выпреванию озимых, учитывается площадь поля (%) с высотой снежного покрова 30 см и более, установившегося при слабом промерзании почвы (см. рис. 39). В табл. 50 даны количественные показатели состояния озимых по результатам отращивания проб растений в феврале и площади с изреженностью с учетом зависимости урожайности озимых культур от состояния посевов весной (по приведенным ранее уравнениям).

Таблица 50
Количественные показатели оценки (баллы) состояния озимых культур при выпревании по результатам отращивания проб, взятых 23 февраля

Площадь с изреженностью (% от всего поля)	Средняя изреженность посевов из четырех проб (%)				
	0	1—10	11—30	31—50	> 50
0	5	—	—	—	—
≤ 30	—	5	4	3	2
31—50	—	4	3	2	1
≥ 50	—	3	2	2	1

Даже при большой изреженности посевов (31—50%) в феврале оценка состояния может быть хорошей, если площадь с этой изреженностью не превышает 30% поля. В то же время состояние посевов следует оценивать как плохое, если изреженность их по результатам отращивания равна 30%, но площадь с такой изреженностью составляет более 50% всего поля.

Для характеристики состояния посевов зимой по результатам отращивания, особенно на больших площадях (области, края, республики), необходимо учитывать агрометеорологические условия, при которых произошли гибель и повреждение посевов.

На больших площадях (области, края, республики) состояние озимых зимой может быть также оценено по результатам отращивания проб растений, взятых с полей 23 февраля. Количество проб с повышенной изреженностью (гибель >10% растений) при отращивании 23 февраля, выраженное в процентах от всех проб, взятых по территории области, края, республики, оказалось достаточно тесно связанным с размерами площади озимых, погибших к весне (в процентах от их общей посевной площади), по данным ЦСУ СССР ($r=0,66\pm 0,03$). Полученные корреляционные связи позволили нам установить количественные соотношения между этими величинами и дать оценку состояния посевов зимой [18, 22].

Оценка дается отдельно для районов, где основными причинами гибели растений является вымерзание и выпревание (с учетом среднего квадратического отклонения площади с погибшими посевами σ за период с 1946 по 1974 г.). В табл. 51 она приводится для областей, расположенных в лесной зоне, где озимые зимой страдают главным образом от выпревания.

Таблица 51

Оценка состояния озимых (баллы) при различном количестве проб с повышенной изреженностью растений 23 февраля и соответствующая ей площадь с погибшими посевами озимых весной S_B (% от общей посевной площади; $S_B(\sigma)$ — в долях)

Показатель	Пробы с изреженностью $> 10\%$ растений (%)				
	0	1—10	11—20	21—30	> 30
Оценка посевов	5	4	3	2	1
S_B	0,0—3,0	3,1—5,0	5,1—10,0	10,1—17,0	$> 17,0$
$S_B(\sigma)$	0—0,5 σ	0,5—1,0 σ	1,0—2,0 σ	2,0—3,0 σ	$> 3\sigma$

Такая оценка позволяет объективно сравнивать состояние посевов не только по различным областям и республикам, но и за различные годы. Кроме того, она позволяет сравнить состояние посевов в конкретном году со средними показателями его за большой ряд лет, с учетом особенностей не только различных почвенно-климатических зон, но и агротехники возделывания озимых (преобладающей площади сева озимой ржи или пшеницы, районированных сортов, количества посевов по различным предшественникам и др.).

Таким образом, результаты отращивания проб озимых культур вполне могут быть использованы при оценке состояния озимых как на конкретных полях, так и на больших площадях. Но при этом необходимо, чтобы отращивание проводилось не менее чем на 8—10 станциях, расположенных равномерно по области (автономной республике). С увеличением количества проб растений, взятых на отращивание, точность оценки состояния озимых повышается [20].

Количественные оценки состояния озимых осенью, зимой и весной, приведенные выше, достаточно хорошо характеризуют размеры площади с погибшими посевами после перезимовки, урожайность и валовой сбор зерна. Поэтому они приняты нами при разработке методов долгосрочных прогнозов перезимовки посевов и агроклиматического районирования территории и могут быть использованы также при решении вопроса о целесообразности пересева весной озимых яровыми культурами.

ВЛИЯНИЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВАЛОВОЙ СБОР ЗЕРНА И ПЛОЩАДЬ ПОГИБШИХ ОТ ВЫПРЕВАНИЯ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР

В годы с неблагоприятными условиями зимовки растений, как показал анализ результатов многолетних агрометеорологических наблюдений (с 1949 по 1975 г.), валовой урожай озимых значительно снижается. Это происходит не только за счет полной гибели всех растений на части площади посевов озимых, но и в результате изреженности посевов и гибели большого количества наиболее продуктивных осенних стеблей у сохранившихся после перезимовки растений [22]. Так, в ряде областей нечерноземной зоны в 1961, 1966, 1971 и 1974 гг. наблюдалось выпревание озимых культур. При этом количество стеблей на 1 м² весной значительно снижалось или почти совсем не увеличивалось по сравнению с осенью, а в период колошения, несмотря на хорошую влагообеспеченность посевов, оказывалось еще меньше. И лишь по данным некоторых станций число стеблей летом незначительно увеличилось по сравнению с их количеством в момент весеннего обследования посевов. Запасы продуктивной влаги в почве в течение всего весенне-летнего периода были хорошими. Так, например, в июне 1966 г. они хотя и несколько понизились (табл. 52), но тем не менее в пахотном слое составляли 40—50 мм в Вологодской области и 20—40 мм в Костромской. Вымерзания озимых в 1966 г. быть не могло, так как минимальная температура почвы на глубине узла кущения за зиму не опускалась ниже —10°C.

В Горьковской, Кировской и Архангельской областях на дату весеннего обследования сохранилось в эту зиму несколько больше стеблей (60—100% осеннего количества), максимальная высота снежного покрова была там ниже — 70—90 см (только в районе станции Ветлуга 105 см), а глубина промерзания почвы больше (60—80 см). Кроме того, в этих областях посевы осенью были преимущественно в хорошем состоянии (в фазе кущения с 3—4 побегами). И хотя снежный покров высотой 30 см и более удерживался здесь тоже в течение 8—14 декад, но температура почвы на глубине узла кущения была ниже и местами достигала —10°C. Создавались условия, более благоприятные по сравнению с другими областями, для перезимовки озимых культур. Тем не менее

Таблица 52

Запасы продуктивной влаги (мм) в почве под озимой рожью в 1966 г.

9 Заказ № 78

129

Область	Станция	Слой почвы 0—20 см							Слой почвы 0—100 см						
		апрель	май			июнь			апрель	май			июнь		
		3	1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3
Архангельская	Емецк	—	—	62	50	57	31	10	—	—	256	200	211	135	145
Вологодская	Вологда-Молочная Бабаево	92	90	69	60	57	43	35	319	338	275	251	248	209	191
		—	—	66	60	52	23	12	—	—	382	399	324	154	140
Ивановская	Шуя Юрьевец	42	39	33	21	—	1	0	109	103	111	93	65	20	17
		48	53	40	19	13	8	23	213	214	182	155	134	130	145
Костромская	Макарьев Галич Солигалич	—	58	48	39	17	41	14	—	297	235	202	177	165	156
		64	58	56	22	18	6	15	237	195	188	129	105	88	84
		—	54	52	25	23	16	21	—	291	253	179	157	127	128
Горьковская	Ройка Ветлуга Красные Баки	39	36	27	13	8	11	5	170	154	146	139	79	67	53
		49	44	38	22	17	12	10	292	264	284	219	161	156	131
		46	47	39	36	31	13	8	178	179	145	155	83	53	38
Кировская	Котельнич Нагорск	48	50	49	26	40	33	23	192	175	228	111	144	105	99
		46	47	42	29	37	22	18	203	185	157	160	148	125	114

конуса роста, как показали результаты исследований методом Ф. М. Куперман [8], у большинства растений были повреждены. В период весенне-летней вегетации они отмерли. На дату наступления молочной спелости сохранилось всего 35—88% их осеннего количества.

Гибель большого количества стеблей (даже при небольшом количестве полностью погибших растений зимой) является одной из основных причин снижения урожая озимых культур в нечерноземной зоне [6, 9, 22 и др.]. В этой зоне пересев весной поврежденных зимой озимых культур на больших площадях бывает редко. Но при гибели даже небольшой части озимых посевов (около 10% площади) оставшаяся часть их оказывается сильно поврежденной, и урожай зерна озимых в эти годы значительно снижается.

Зависимость валового урожая озимых культур W от размеров площади с погибшими посевами S_b для отдельных областей за период с 1957 по 1975 г., представленная на рис. 41, подтверждает этот вывод. Для сопоставления материалов за разные годы валовой урожай озимых приведен к единой посевной пло-

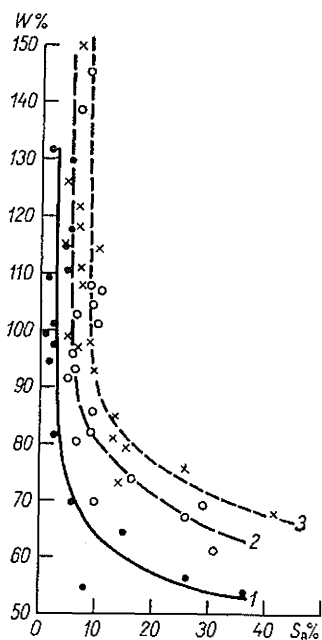


Рис. 41. Зависимость валового урожая W (%) озимых культур от площади гибели S_b (%).

1 — Тульская область, 2 — Костромская, 3 — Новгородская.

щади (средней за период) и дан в процентах от среднего за 19 лет. Площадь гибели берется в процентах от общей посевной площади озимых по области.

Как видно на рис. 41, валовой урожай озимых значительно снижается уже при увеличении площади с погибшими посевами до 5—10%. Особенно начинает сказываться на снижении валового урожая перезимовка, когда площадь гибели озимых культур выше 10%.

Рассмотрим зависимость валового урожая озимых культур от площади гибели для Костромской области, по которой амплитуда колебания валового урожая составляет 130%. Самый низкий урожай ($\leq 60\%$ от среднего) получается при площади гибели 30% и более. При площади гибели 10% валовой урожай составляет 80% среднего. Самый высокий урожай (150%) до 1970 г. был

получен при площади гибели менее 5%, а за период 1970—1975 гг.— при площади гибели менее 10%. При отсутствии гибели озимых ($S_b=0$) валовой урожай был бы, очевидно, еще выше.

В Новгородской области, кроме выпревания, озимые культуры подвергаются и вымоканию. При гибели к весне посевов на площади 40% валовой урожай в этой области снижался до 67% от среднего (1965/66 г.).

По результатам наблюдений на метеорологических станциях с 1949 по 1970 г. оказалось, что в нечерноземной зоне, где основной причиной гибели озимых является выпревание, размеры площади с погибшими посевами прямо пропорциональны высоте

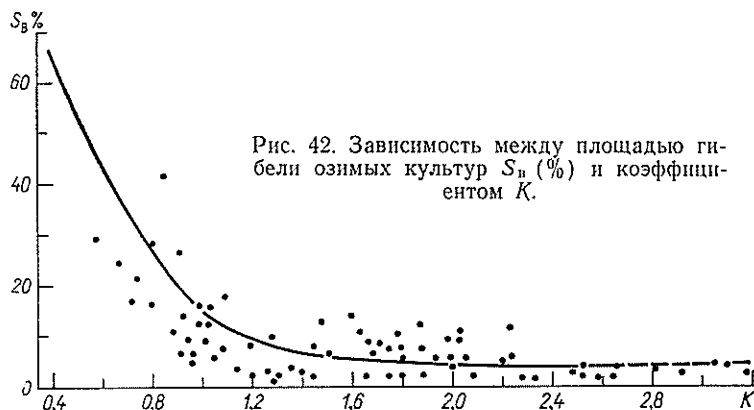


Рис. 42. Зависимость между площадью гибели озимых культур S_b (%) и коэффициентом K .

снежного покрова и обратно пропорциональны глубине промерзания почвы [22]. Отношение глубины промерзания почвы к высоте снежного покрова в первую декаду увеличения его высоты до 30 см и более, обозначенное через K , принято нами за комплексный показатель условий зимовки озимых в районах выпревания (с высотой снежного покрова более 30 см). Площадь с погибшими посевами S_b с 1949 по 1975 г. по областям нечерноземной зоны ЕТС оказалась тесно связанной с этим показателем (рис. 42). Чем меньше коэффициент K , тем больше площадь гибели озимых. С увеличением коэффициента K площадь гибели озимых от выпревания уменьшается. Это объясняется тем, что в нечерноземной зоне при увеличении высоты снежного покрова и уменьшении глубины промерзания почвы создаются условия, ускоряющие процессы выпревания растений.

В тех случаях, когда в первую декаду с высотой снежного покрова 30 см и выше почва промерзла более чем на 50 см, значение $K > 1$ и, как видно на рис. 42, площадь с полностью погибшими озимыми уменьшается. При $K = 2,0$ влияние условий перезимовки на посевы оказывается наименьшим. Значение $K < 1$ возможно

только тогда, когда глубина промерзания почвы в первую декаду установления высоты снежного покрова выше 30 см на полях с озимыми культурами небольшая — меньше высоты снежного покрова. Наиболее часто высота снежного покрова увеличивается постепенно. Поэтому можно считать, что K бывает менее 1 в тех случаях, когда снежный покров высотой 30 см устанавливается на почве, промерзшей на глубину около 30 см. Поэтому роль соотношения глубины промерзания почвы и высоты снежного покрова резко возрастает. Даже небольшое уменьшение коэффициента K соответствует значительному ухудшению условий зимовки и увеличению размеров площади с погибшими озимыми посевами. Так, если при $K=1$ площадь гибели озимых составляет около 10%, то уже при $K=0,8$ она увеличивается до 25% всей площади посевов в области.

Количественно связь размеров площади с погибшими к весне посевами в нечерноземной зоне со значением K выражается уравнением

$$\lg S_b = -0,3565 \lg K + 0,5012 \quad (17)$$

или

$$S_b = \frac{3,17}{K^{0,44}}, \quad (18)$$

где S_b — площадь с погибшими по области посевами (%), K — показатель условий зимовки (отношение глубины промерзания почвы к высоте снежного покрова). Коэффициент корреляции между этими величинами $r = -0,795 \pm 0,011$. Ошибка уравнения $S_b = \pm 2,42\%$. Уравнение действительно при продолжительности залегания на полях озимых снежного покрова 30 см и выше в течение пяти декад и более при K в пределах от 0,40 до 3,0.

Для получения высоких и устойчивых урожаев большое значение имеют не только условия зимовки, но и весенние агрометеорологические условия. В отдельные годы при раннем сходе снежного покрова изреженность может быть и небольшой, хотя зимой создавались условия, при которых возможно выпревание озимых культур. Быстрый сход снежного покрова, отсутствие резких колебаний температуры, хорошая влагообеспеченность и теплообеспеченность посевов весной способствуют восстановлению хорошего состояния растений. Третья стадия выпревания — развитие мицелия грибов и поражение ими листьев и стеблей — при этом не наступает. При подкормке и бороновании ранней весной растения в такие годы быстро могут улучшить свое состояние, особенно если они осенью были в фазе начало кущения. Аналогичные условия сложились весной 1968 г.

Для того чтобы установить, каково значение условий зимовки озимых культур для валового урожая зерна, нами были проанализированы материалы за 27 лет (1949—1975 гг.) по 26 областям

нечерноземной зоны Европейской территории СССР. За все указанные годы рассчитан комплексный показатель условий перезимовки посевов K_1 , представляющий собой отношение максимального за зиму значения глубины промерзания почвы к максимальной значению высоты снежного покрова. Зависимость между валовым урожаем W и коэффициентом K_1 представлена на рис. 43. Линией 1 показана связь валового урожая озимых культур с показателем K_1 для лет, когда максимальная за зиму глубина промерзания почвы была 50 см и менее при высоте снежного покрова более 30 см. Зависимость между этими величинами в такие годы выражается уравнением:

$$y = 35,50x - 8,05x^2 + 58,56, \quad (19)$$

где y — валовой урожай, приведенный к единой посевной площади

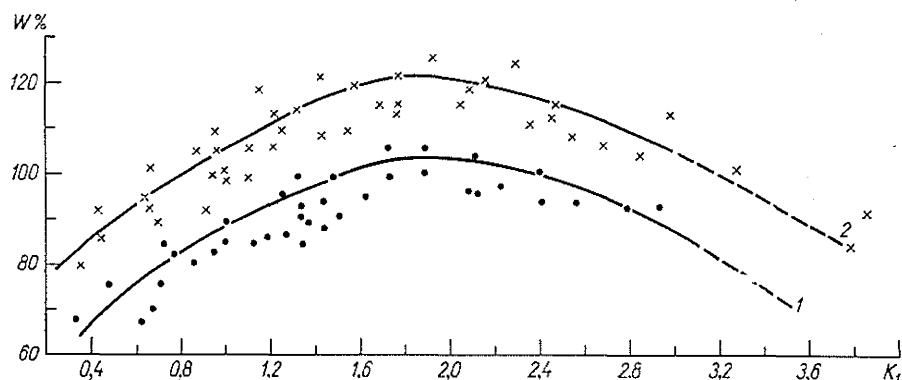


Рис. 43. Зависимость между валовым урожаем W (%) и коэффициентом K_1 .

1 — при максимальной глубине промерзания почвы 50 см и менее, 2 — то же при 51—80 см.

и взятый в процентах от среднего; x — коэффициент K_1 . Связь получилась довольно тесной (корреляционное отношение $\eta = 0,87$). Обеспеченность ошибки уравнения, равной и менее $\pm 20\%$ амплитуды валового урожая, составляет 87%.

Линией 2 на этом рисунке показана зависимость валового урожая озимых от K_1 , когда максимальная за зиму глубина промерзания почвы составила 51—80 см и максимальная высота снежного покрова была 30 см и выше. Коэффициент корреляции между валовым урожаем и коэффициентом K_1 для этих лет оказался несколько меньше ($r = 0,83$). Уравнение связи имеет вид

$$y = 14,80x - 34,91x^2 + 63,46; \quad (20)$$

условные обозначения те же. Обеспеченность ошибки уравнения, равной и менее $\pm 20\%$ амплитуды колебания валового урожая за 20 лет, составляет 83%. Уравнения действительны при $K_1 = 0,40 \div 3,00$.

Уравнения (19) и (20) рассчитаны по данным за 1949—1968 гг. и проверены на независимом материале за 1969—1975 гг.

На рис. 43 видно, что при $K_1 < 2,0$ происходит снижение валового урожая озимых по сравнению со средним его значением за 20 лет. При изменении K_1 от 2,00 до 0,30 валовой урожай озимых культур уменьшается от 100 до 70% в годы с максимальной глубиной промерзания почвы 50 см и менее и от 120 до 80% в годы, когда максимальная глубина промерзания почвы 80 см и менее. При возрастании $K_1 > 2,0$ валовой урожай тоже снижается. Это объясняется неблагоприятным действием на растения дополнительных факторов (вымокания растений и гибели их весной). Сравнение кривых 1 и 2 на рис. 43 показывает, что валовой урожай в нечерноземной зоне достаточно тесно связан с высотой снежного покрова и глубиной промерзания. При увеличении максимальной глубины промерзания от 50 до 80 см он возрастает на 20%.

При использовании связи валового урожая с K_1 необходимо учитывать условия ранневесеннего периода. При очень теплой и ранней весне в отдельные годы даже при малом значении K_1 валовой урожай может оказаться высоким, особенно при своевременной подкормке и бороновании озимых посевов.

Так, например, в 1968 г. по Марийской АССР, Кировской и Владимирской областям валовой урожай озимых был значительно выше среднего за период с 1959 по 1968 г. (табл. 53). Значение K_1 по этим областям в 1968 г. составляло 0,97—1,18.

Максимальная высота снежного покрова почти на всей территории нечерноземной зоны ЕТС была выше 50 см (за исключением северо-запада и крайнего севера ЕТС, где она составила 30—50 см). Максимальная глубина промерзания почвы в северных и центральных районах нечерноземной зоны изменялась от 30 до 50 см, на юге зоны и на крайнем севере она увеличивалась до 100 см.

Снежный покров высотой 30 см и более удерживался на полях с озимыми культурами в северной и северо-восточной части ЕТС в течение 11—12 декад, в Пермской области и Удмуртской АССР — 13 декад, а в центральных и юго-восточных районах нечерноземной зоны 9—10 декад.

Следовательно, зимой 1967/68 г. создавались условия, способствующие выпреванию озимых. Однако весна 1968 г. была ранняя и дружная, в третьей декаде марта в северо-восточных областях нечерноземной зоны ЕТС и первой декаде апреля в центральных и южных областях снег с полей полностью сошел (исключение составляют северо-западные районы, где сход его произошел еще во второй декаде марта) и установилась солнечная и очень теплая погода (максимальная температура воздуха достигала 16°C) с низкой влажностью воздуха. Поэтому полной гибели озимых от выпревания не произошло. Озимые, прекратившие осенью вегетацию

Характеристика благоприятных и неблагоприятных условий перезимовки озимых культур

Область и АССР	Благоприятные условия					Неблагоприятные условия					
	год	максимальная за зиму высота снежного покрова h_M (см)	максимальная глубина промерзания почвы H_M (см)	$K_1 = \frac{H_M}{h_M}$	валовой урожай (% от среднего)	годы	максимальная за зиму высота снежного покрова h_M (см)	максимальная за зиму глубина промерзания почвы H_M (см)	$K_1 = \frac{H_M}{h_M}$	валовой урожай (% от среднего)	валовой урожай (% от максимального)
Кировская	1967/68	67	65	0,97	147,2	1965/66	88	89	1,01	89,6	60,8
Коми АССР	1966/67	35	131	3,74	172,5	1957/58	66	33	0,50	76,4	44,3
Архангельская	1966/67	26	148	5,70	152,4	1965/66	95	82	0,86	104,2	68,4
Вологодская	1966/67	32	121	3,79	154,0	1965/66	97	34	0,35	68,7	44,5
Костромская	1966/67	41	129	3,15	191,0	1965/66	84	39	0,49	70,0	36,5
Горьковская	1967/68	59	105	1,78	134,0	1965/66	67	101	1,51	90,5	67,5
Марийская АССР	1967/68	74	88	1,18	141,8	1965/66	95	124	1,31	112,2	79,1
Удмуртская АССР	1966/67	48	110	2,29	124,7	1965/66	104	68	0,65	100,0	80,2
Мордовская АССР	1967/68	51	94	1,84	141,2	1957/58	39	60	1,64	98,8	69,5
Владимирская	1967/68	62	66	1,06	173,8	1958/59	50	52	1,11	84,5	48,5
Ивановская	1966/67	29	139	4,80	148,9	1965/66	35	34	0,92	90,7	60,8
Ярославская	1966/67	25	133	5,32	173,0	1964/65	44	66	1,60	96,4	55,5
Калининская	1967/68	50	66	1,32	138,5	1964/65	48	60	1,09	97,5	70,0
Московская	1967/68	55	61	1,11	183,0	1965/66	29	28	0,99	119,1	65,2
Смоленская	1966/67	43	82	1,90	122,8	1957/58	37	25	0,79	82,0	66,7
Новгородская	1966/67	34	99	2,91	150,0	1965/66	79	51	0,64	67,2	44,8
Ленинградская	1966/67	42	77	1,83	199,0	1965/66	88	35	0,44	84,4	42,4

на 97% площади в хорошем состоянии, быстро оправились от неблагоприятной зимы и, несмотря на потерю 20—50% стеблей, дали относительно высокий урожай (табл. 53).

Однако по ряду областей все-таки не были использованы все потенциальные возможности озимых культур, гибель продуктивных стеблей снизила урожайность. Особенно снижен был урожай в северной и северо-западной части ЕТС; где потеря стеблей оказалась наибольшей. Урожайность там в 1968 г. была ниже, чем в 1967 г., на 10—20%.

За период с 1969 по 1975 г. при $K_1 < 1$ валовой урожай ржи составлял 60—90% среднего (с учетом тенденции роста — тренда) по ряду областей нечерноземной зоны: Смоленская область — 1974, 1975 гг., Ярославская область — 1971, 1975 гг., Горьковская область — 1971, 1975 гг., Кировская область — 1970, 1972—1974 гг. и т. д.

Наиболее неблагоприятные для зимовки условия, когда озимые сильно страдали от выпревания, создавались за последние 20 лет в зимы 1965/66 и 1973/74 гг. Максимальная высота снежного покрова в северных и северо-восточных районах ЕТС в 1965/66 г. составляла 80 см и больше, в центральных районах нечерноземной зоны 51—80 см. Максимальная глубина промерзания в северо-западных и центральных районах нечерноземной зоны была менее 50 см. На юге зоны она составляла 51—80 см, а в северо-восточных районах ЕТС была более 80 см. Снежный покров высотой 30 см и более удерживался в течение 10—14 декад и только в центральных районах ЕТС в течение 6—10 декад.

В результате таких условий озимые оказались сильно поврежденными от выпревания. В Ленинградской, Кировской областях и Удмуртской АССР сохранилось около 80%, а в северных и центральных районах — всего 30—70% растений. Особенно мало осталось весной у озимых культур живых стеблей. Только в Горьковской и Ивановской областях их было около 100%, а в остальных районах нечерноземной зоны — от 30 до 70%. При нормальных же условиях зимовки число стеблей весной у озимых растений увеличивается в результате дополнительного кущения на 20—50% по сравнению с осенью.

Размеры площадей с погибшими при перезимовке озимыми посевами в этот год оказались максимальными за период с 1949 по 1975 г. Зависимость между ними и показателем K_1 представлена на рис. 44. Площади с погибшими посевами были значительно больше в тех областях, где была наибольшая за зиму высота снежного покрова и наименьшая глубина промерзания почвы ($K_1 \leq 0,60$). Несколько отклонились от кривой точки 1 (Новгородская область) и 2 (Калининская область). Там часть посевов озимых культур пострадала не столько от выпревания, сколько от переувлажнения почвы и затопления посевов осенью. В этих об-

тастях площади гибели оказались несколько меньшими. Но даже в тех областях, где площадь гибели была менее 10% и валовой урожай составлял 90—112% среднего, он оказался в большинстве областей нечерноземной зоны на 50% и более ниже, чем в благоприятные для перезимовки годы.

Изменение валового урожая озимых культур W , значения K_1 и площади с погибшими посевами S_b по годам за период с 1957/58 по 1970/75 гг. для отдельных областей даны на рис. 45 а, б. На рисунках видно, что валовой урожай озимых за последние годы значительно вырос по сравнению с началом рассматриваемого пе-

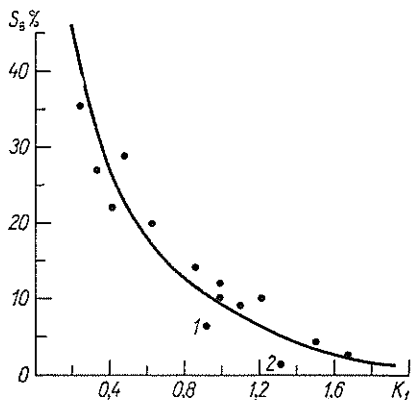


Рис. 44. Зависимость площади гибели озимых культур S_b (%) от K_1 за 1965/66 г. при высоте снежного покрова 30 см и более в нечерноземной зоне ЕТС.

риода. Это объясняется значительным повышением уровня агро-техники в последние годы. Посевы на больших площадях весной стали подкармливаться минеральными удобрениями, своевременно производится сев озимых культур, а в ряде областей (Московская, Брянская и другие) на значительных площадях внедрены в производство новые, более продуктивные сорта озимых, в том числе озимой пшеницы Мироновская 808.

Колебания урожая за рассматриваемый период были большими; очевидно, это объясняется главным образом неблагоприятными условиями зимовки растений — выпреванием, так как в годы с наименьшим K_1 они были тоже наименьшими (1957/58, 1960/61, 1965/66, 1967/68, 1973/74), а в годы с увеличенным K_1 повышались (1958/59, 1962/63, 1964/65, 1966/67, 1968/69, 1969/70).

Площади с погибшими посевами колебались в значительно меньших пределах; в годы с высокими валовыми сборами зерна они были небольшими, а в годы с низкими урожаями достигали максимума. Это подтверждает правильность приведенных выше зависимостей размеров валового урожая и площади с погибшими от выпревания озимыми в нечерноземной зоне ЕТС от высоты снежного покрова и глубины промерзания почвы.

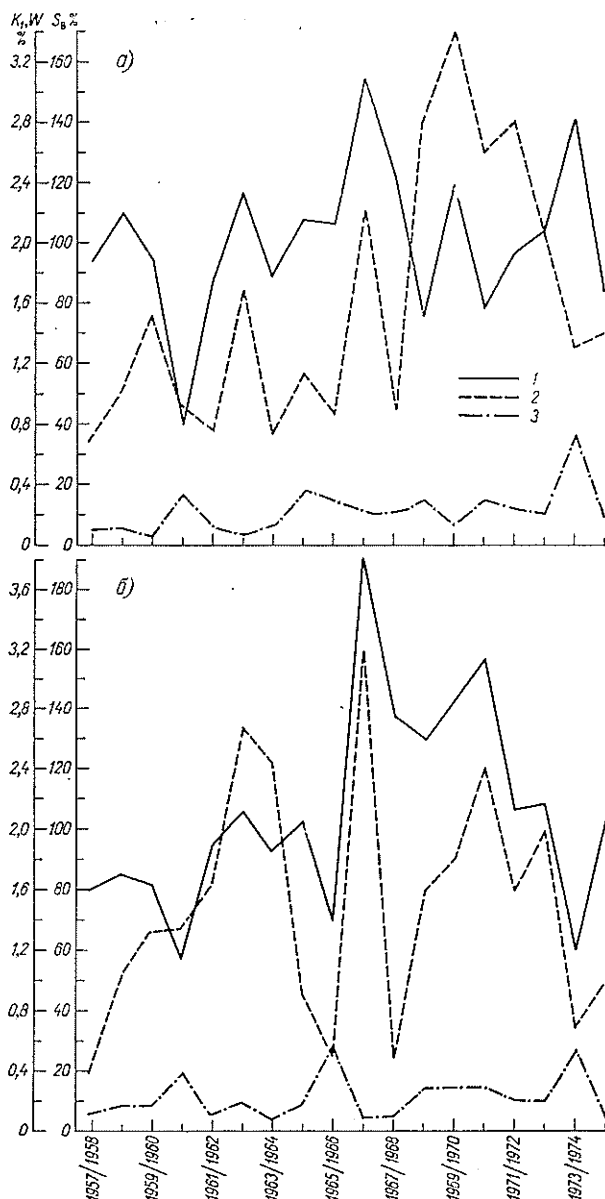


Рис. 45. Изменение валового урожая W (1), площади гибели S_b (3) озимых культур и показателя условий зимовки K_1 (2) с 1957/58 по 1974/75 г. в Архангельской (а) и Костромской (б) областях.

МЕТОДЫ СОСТАВЛЕНИЯ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ВЫПРЕВАНИЯ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР

Ущерб, причиняемый неблагоприятными условиями зимовки народному хозяйству, может быть значительно сокращен, а иногда и полностью ликвидирован, если плановым сельскохозяйственным органам и специалистам сельского хозяйства заблаговременно будут известны степень возможного повреждения озимых культур и районы, где оно может произойти вследствие выпревания. Поэтому долгосрочные агрометеорологические прогнозы перезимовки озимых культур имеют большое практическое значение не только в степной зоне, где посевы наиболее часто погибают в результате вымерзания при отсутствии или небольшом снежном покрове на полях, но и в лесостепной и лесной зонах СССР, где гибель и повреждение посевов происходят от выпревания при длительном залегании мощного снежного покрова на слабопромерзшей почве.

Изложенные выше результаты физиологических исследований причин гибели растений при выпревании, установленные закономерности изменения конуса нарастания у образовавшихся осенью побегов под влиянием агрометеорологических условий зимовки, определение количественных показателей основных элементов этих условий и закономерностей их пространственной и временной изменчивости позволили разработать асинхронные связи между метеорологическими условиями за прогнозируемый и прошедший период зимы и на основе их создать методы долгосрочных агрометеорологических прогнозов выпревания озимых зерновых культур [17, 18, 22].

Поскольку детальные долгосрочные (на сезон) синоптические прогнозы погоды в настоящее время не составляются, методы долгосрочного прогноза состояния озимых весной основаны на закономерностях инерционных процессов формирования агрометеорологических условий зимовки, вызывающих выпревание растений. К последним относятся связи между продолжительностью залегания на полях с озимыми мощного снежного покрова и сроком его установления, а также с максимальной глубиной промерзания

почвы за зиму и величиной ее в момент образования на полях снежного покрова высотой 30 см, абсолютным минимумом температуры почвы на глубине узла кушения озимых за зиму и за прошедший период до установления на полях достаточно высокого снежного покрова и многие другие.

Методы составления долгосрочных прогнозов состояния озимых культур [17] разработаны для расчета количества сохранившихся растений и стеблей у озимых культур к весне и размеров площади с изреженными посевами (в процентах от площади их посевов) как на конкретных полях, так и на больших территориях (области, края, республики). При составлении прогнозов для конкретных полей используется оперативная агрометеорологическая информация с этих полей: осеннее состояние озимых, высота и плотность снежного покрова, глубина промерзания и температура почвы, температура воздуха и др.

Для составления прогнозов перезимовки на больших площадях возникла необходимость установить количественные показатели агрометеорологических условий зимовки посевов и получить прогностические зависимости по осредненным для территории областей, краев и республик показателям и непосредственно площадям с погибшими посевами по данным ЦСУ СССР.

Прогнозы, составляемые по конкретным полям, могут использоваться непосредственно специалистами сельскохозяйственного производства (колхозов, совхозов, опытных станций и др.). На основании их при расчетах по нескольким станциям (6—10) может быть дан также прогноз состояния озимых посевов весной по области, краю, республике.

Долгосрочные прогнозы, составляемые в целом по областям и республикам, могут использоваться плановыми и сельскохозяйственными органами при разработке мероприятий по уходу за посевами, распределении минеральных удобрений, горючего, сельскохозяйственных машин и семян, необходимых для посева и посева погибших и поврежденных зимой озимых яровыми.

Метод составления долгосрочного прогноза выпревания озимых на конкретных полях. В прогнозе ожидаемого состояния озимых посевов весной на конкретных полях даются количество сохранившихся растений и стеблей, а также площадь (в процентах от всей площади поля), на которой посевы изрежены или погибли [17, 18, 23]. Прогнозы выпревания озимых культур состояются в том случае, если на полях в первой половине зимы устанавливается высокий снежный покров ($h \geq 30$ см) при небольшом (менее 50 см) промерзании почвы. На этих полях, как уже указывалось ранее, озимые длительный период находятся под мощным снежным покровом при температуре почвы на глубине узла кушения выше -8°C , а иногда и близкой к 0°C . При таких условиях растения истощаются и во второй половине зимы, а особенно ранней

весной, поражаются различными видами грибных заболеваний, значительно повреждаются или полностью погибают.

Расчет ожидаемой степени изреженности и озимых посевов весной производится с учетом их осеннего состояния (коэффициента кущения k) по уравнению (6)

$$u = 59,07 + 6,82t_3 + 0,22t_3^2 - 5,14k + 0,40k^2,$$

где t_3 — минимальная температура почвы на глубине узла кущения за период с высотой снежного покрова 30 см и более. Последняя берется по фактическому значению ее на декаду установления снежного покрова высотой 30 см и более с учетом возможного изменения t_3 в дальнейшем в зависимости от глубины промерзания почвы H (см. рис. 40). Как видно на рис. 40, абсолютный минимум температуры почвы на глубине узла кущения за зиму при глубине промерзания почвы 0—30 см в момент установления снежного покрова высотой 30 см и более не опускается ниже -3 , -6°C , при глубине промерзания почвы 50 см он равен -5 , -8°C и при 80 см абсолютный минимум равен -8 , -12°C . Поэтому расчет ожидаемой изреженности озимых весной и прогноз выпревания их по этому уравнению производится не только в декаду установления на поле снежного покрова высотой 30 см и более, он уточняется еще 20 февраля, так как в дальнейшем минимальная температура почвы бывает в 97% лет равной или выше (рис. 46).

При таком способе составления прогноза необходимо учитывать также распределение на полях снежного покрова (см. рис. 39) и в зависимости от него определять площадь с выпреванием озимых.

Более надежным, хотя и трудоемким, является способ прогноза количества сохранившихся растений и стеблей в среднем по полю в годы выпревания [17]. Для составления такого прогноза необходимо с большой заблаговременностью знать, какова будет продолжительность залегания на полях снежного покрова высотой 30 см и более.

Для разработки метода долгосрочного прогноза продолжительности залегания на полях мощного снежного покрова были использованы материалы наблюдений по снегосъемкам на полях озимых культур с 1932/33 по 1972/73 г. метеорологических станций северо-западных, центральных и северных областей Европейской территории СССР и Западной Сибири. По этим данным оказалось, что неустойчивого мощного снежного покрова (высотой 30 см и более) в зоне, расположенной севернее линии Ленинград, Смоленск, Тула, Ульяновск, Уфа, Омск, Новосибирск, Кемерово, не бывает. Поэтому первая декада его образования была принята нами за срок установления на полях мощного снежного покрова [17].

Срок установления мощного снежного покрова (более 30 см) колеблется по отдельным годам в очень больших пределах (до 140 дней). Самый ранний срок его установления, по данным наб-

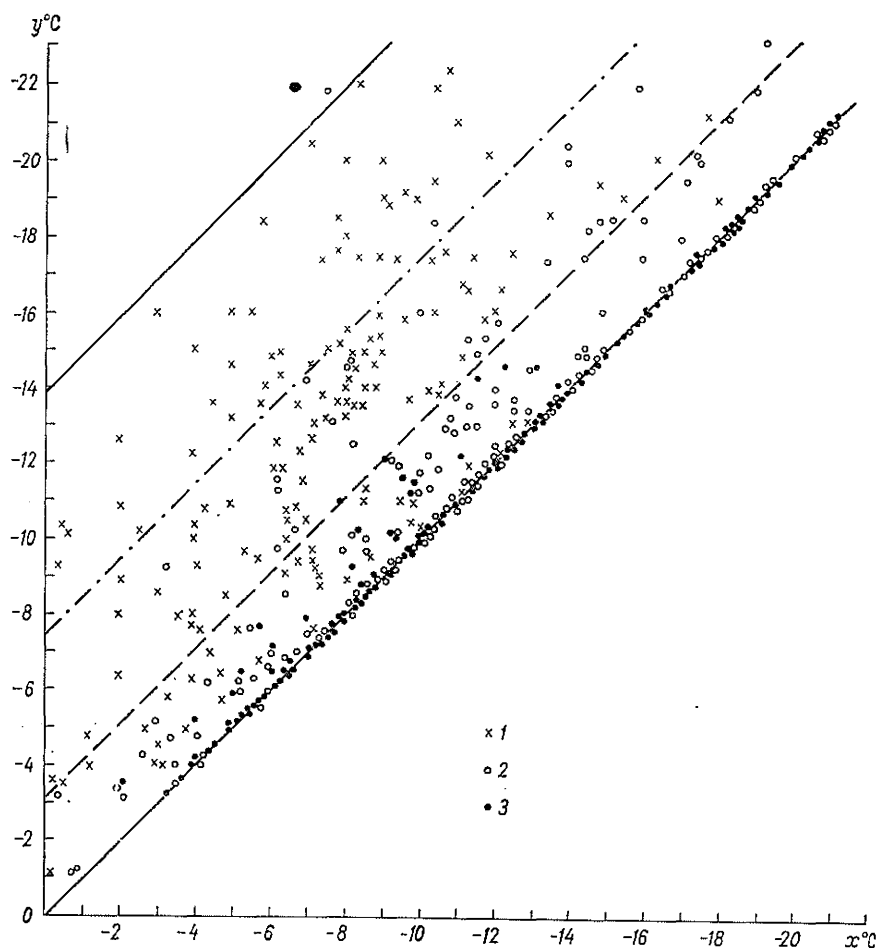


Рис. 46. Связь между абсолютным минимумом температуры почвы на глубине узла кушения x до 1 января (1), 1 февраля (2), 20 февраля (3) и абсолютным минимумом ее за всю зиму y .

людений всех указанных станций, оказался одним и тем же — третья декада ноября; самый поздний в северной половине Европейской территории СССР — вторая декада марта, а в лесных и лесостепных районах Западной Сибири — первая декада апреля.

Срок начала схода весной снежного покрова колеблется по годам в значительно меньших пределах (40—60 дней), чем срок его установления. Объясняется это разными датами начала снеготаяния и поэтому различной его интенсивностью. При поздних сроках начала таяния интенсивность снеготаяния больше, чем при ранних, из-за увеличения продолжительности дня и большего притока к земной поверхности прямой солнечной радиации.

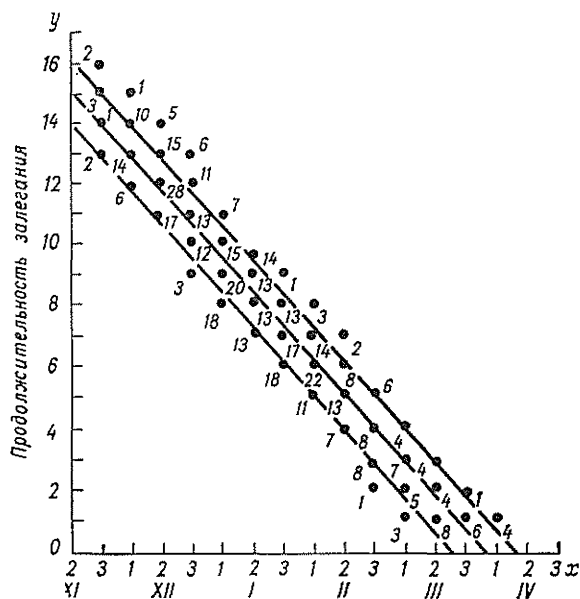


Рис. 47. Связь между продолжительностью залегания y (декады) и сроком x (декадой) установления на полях снежного покрова высотой 30 см и более.

Цифры у точек — число случаев.

Продолжительность залегания на полях мощного снежного покрова колеблется по отдельным годам в очень больших пределах — от 0 до 160 дней. Но при установлении его в один и тот же срок она в различных районах большой зоны (от северо-западных областей Европейской территории СССР до Томской области) бывает почти одна и та же. Это дало право при выведении зависимости между продолжительностью залегания и сроком установления снежного покрова обобщить результаты снегосъемки по станциям, расположенным в различных районах.

Зависимость между этими величинами прямолинейна и обратно пропорциональна (рис. 47). Чем раньше устанавливается снежный

покров высотой 30 см и более, тем больше его продолжительность. Коэффициент корреляции между ними $r = -0,94 \pm 0,04$. Уравнение связи имеет вид

$$y = 17,540 - 1,126x, \quad (21)$$

где y — продолжительность залегания снежного покрова высотой 30 см и более, x — срок установления снежного покрова этой высоты в декадах (за $x=1$ принята первая декада ноября). Средняя квадратическая ошибка уравнения $E_y = \pm 1,18$ декады.

Проверка этого уравнения показала, что в 78% случаев ошибка расчета заключается в пределах вероятной ошибки E_y и в 99% случаев в пределах $\leq (\pm 2,3)$. На основании этого уравнения, зная срок образования на полях озимых снежного покрова высотой 30 см и более, можно с достаточной точностью (± 1 декада) и большой заблаговременностью дать прогноз продолжительности его залегания, а используя зависимости между количеством сохранившихся растений и стеблей (рис. 36—38), составить прогноз состояния озимых посевов к моменту возобновления вегетации. Заблаговременность такого прогноза в годы, опасные для перезимовки посевов, от 100 до 160 дней.

Прогноз количества сохранившихся растений и стеблей у озимых посевов составляется в первую декаду после получения сведений от станций об установлении на полях снежного покрова высотой 30 см и более.

Проверка оправдываемости прогноза по материалам наблюдений 70 станций, расположенных в зоне выпревания, в 1965/66 г. показала, что расхождение между прогнозируемым и фактическим количеством сохранившихся стеблей у озимых культур, по данным 65 (93%) станций, было в пределах допустимой ошибки ($\pm 15\%$). При этом за фактически сохранившееся количество стеблей принималось отношение (в процентах) количества стеблей на 1 м², полученное при весеннем и осеннем обследованиях.

Однако в отдельные годы расхождение между рассчитанным и фактическим количеством сохранившихся стеблей было большим. Анализ материалов за эти годы показал, что при составлении прогноза выпревания озимых, кроме продолжительности залегания на полях снежного покрова высотой 30 см и более и глубины промерзания почвы, необходимо учитывать температуру воздуха. В годы с большой отрицательной аномалией температуры воздуха в период залегания снежного покрова высотой 30 см и более, как уже указывалось ранее, процент сохранившихся стеблей бывает большим, чем в теплые зимы.

Для учета поправки на суровость зимы Δt (табл. 40) при составлении прогноза выпревания посевов с большой заблаговременностью потребовалось найти зависимость, позволяющую прогнозировать с такой же заблаговременностью сумму отрицательной

температуры воздуха за период залегания снежного покрова с высотой 30 см и больше. Анализ значений этой суммы за последние 40—50 лет показал, что такая прогностическая зависимость может быть получена, если учесть сумму температур за период, предшествующий прогнозируемому, с высотой снежного покрова 1—30 см. Связь между суммами температур воздуха за период с высотой снежного покрова 30 см и более и с высотой 1—30 см оказалась

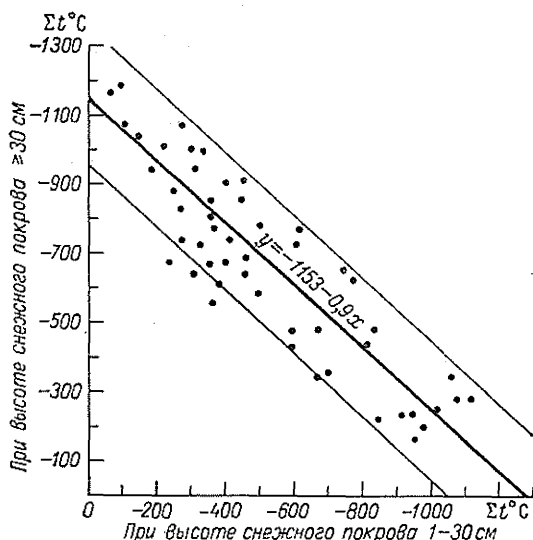


Рис. 48. Связь между суммой отрицательных средних суточных температур воздуха за период залегания на полях снежного покрова высотой 30 см и более и за период с высотой снежного покрова 1—30 см.

прямолинейной и обратно пропорциональной (рис. 48). Коэффициент корреляции между этими величинами $r = -0,83 \pm 0,002$. Уравнение связи имеет вид

$$y = -0,9x - 1158, \quad (22)$$

где y — сумма средних суточных температур воздуха за период с высотой снежного покрова 30 см и более, x — то же за период с высотой снежного покрова 1—30 см. Средняя квадратическая ошибка уравнения $E_y = \pm 172^\circ\text{C}$, уравнение действительно при значениях x и y от 0 до 1800°C .

При анализе многолетнего материала оказалось, что сумма отрицательных температур за период залегания снежного покрова высотой 30 см и более продолжительностью более 10 декад бывает большей в годы с быстрым нарастанием высоты снежного покрова в начале зимы, чем в годы с медленным нарастанием. Поэтому в те годы, когда период с высотой снежного покрова от 1 до 10 см был менее двух декад или равен двум декадам, значение

ее следует брать по верхней линии графика (рис. 48), когда этот период равен 4—6 декадам — по нижней линии.

Окончательно прогноз количества сохранившихся после перезимовки стеблей у озимых культур при выпревании, таким образом, строится на учете полученных закономерностей сезонного изменения температуры почвы на глубине узла кущения озимых, глубины промерзания почвы и высоты снежного покрова. Кроме того, учитываются количественные зависимости между состоянием посевов осенью и условиями перезимовки, а также асинхронные прогностические зависимости между продолжительностью залегания мощного снежного покрова и суммой отрицательных температур воздуха.

Площадь, на которой возможно повреждение или гибель растений от выпревания, рассчитывается начиная с декады установления средней высоты снежного покрова 16 см и более, а заканчивается в третьей декаде января (после чего период с высотой снежного покрова 30 см и более будет менее восьми декад) или при установлении на полях снежного покрова со средней по снего-съемкам высотой 45 см и более, когда на всей площади поля высота его 30 см и более (см. рис. 39). В течение этого периода для каждой декады отдельно рассчитывается ожидаемое среднее количество (в процентах) сохранившихся растений и стеблей на 1 м² на той части поля, где высота снежного покрова была 30 см и более. Затем рассчитывается средний по полю процент сохранившихся растений и стеблей у озимых посевов и определяется площадь поля, на которой сохранилось менее 50% растений [17].

Метод прогноза выпревания озимых культур на территории области, республики. Ожидаемая площадь гибели озимых культур по территории области (края) определяется путем картирования результатов расчетов по отдельным станциям. Для этого на карту, на которой указаны общие посевные площади озимых по районам и количество посевов в плохом состоянии осенью, наносятся ожидаемые по станциям площади со средней по полю изреженностью посевов более 50% растений. Затем выделяются зоны с ожидаемой площадью гибели озимых $S_b > 50\%$ и по каждой из этих зон рассчитывается количество посевов (в тыс. га). Сумма полученных таким образом площадей по всем зонам и будет площадью гибели озимых в целом по области (краю, республике).

Аналогичным путем подсчитывается на второй карте площадь посевов (в тыс. га и в процентах) по области с изреженностью растений 30—50%, при которой посевы подсеваются яровыми. Сумма этих площадей принимается за наиболее вероятную площадь с озимыми в плохом состоянии.

При подсчете наиболее вероятных площадей с плохим состоянием озимых культур учитывается площадь озимых по каждому району с плохим состоянием озимых осенью, полученная при осен-

нем маршрутном наземном и авиационном обследовании посевов, а также при расчетах состояния посевов осенью с учетом сроков сева, теплообеспеченности и влагообеспеченности их в период осенней вегетации [2, 17, 18, 23].

Кроме наиболее вероятной площади в плохом состоянии, даются пределы, в которых она может колебаться. Эти пределы рассчитываются с учетом вероятной ошибки метода прогноза и возможных повреждений посевов от других неблагоприятных факторов (вымерзания весной после схода снежного покрова, вымокания и др.).

В прогнозе дается также ожидаемая площадь, на которой посевы будут в удовлетворительном и хорошем состоянии в целом по области (в тыс. га и в процентах от общей посевной площади озимых). Кроме того, на карту по всем станциям наносится ожидаемое среднее по полю количество сохранившихся стеблей и выделяются зоны с их количеством на 1 м²: менее 350, 350—500, 500—700, 750—1000 и более 1000 стеблей. Эти данные, как и площади с плохим, удовлетворительным и хорошим состоянием посевов, учитываются при составлении прогноза урожая озимых культур.

Прогноз состояния озимых культур весной составляется также с учетом фактического состояния озимых посевов осенью, полученного по результатам осеннего обследования посевов на отдельных полях, по территории районов и в целом по области, а также по результатам расчетов количества посевов (в тыс. га и в процентах) с хорошим, удовлетворительным и плохим состоянием по каждому району и области в целом.

Составляется сводная таблица по всем станциям области (края, республики), по которым ведутся прогностические расчеты ожидаемого количества сохранившихся после перезимовки стеблей и растений, а также ожидаемых площадей с различным состоянием посевов весной. Образец такой сводки для Вологодской области дается в табл. 54.

Этот способ расчета долгосрочного прогноза выпревания озимых культур трудоемок. Для расчета его вручную требуется много времени. Учитывая это, в Гидрометцентре СССР совместно с Ленинградским гидрометеорологическим институтом и Западно-Сибирским гидрометцентром в 1975 г. была составлена программа для расчета этого прогноза на ЭВМ [24]. Расчет на ЭВМ БЭСМ-6 по этой программе по одной станции занимает менее 1 с машинного времени. Внедрение этой программы в практику оперативной работы значительно расширяет возможности повышения точности и увеличения заблаговременности прогнозов выпревания озимых культур.

Прогноз размеров площади посевов с плохим состоянием озимых, требующим весной пересева яровыми культурами, может быть

Таблица 54

Ожидаемое состояние посевов озимой ржи сорта Вятка весной 1966 г. по станциям Вологодской области

№ п/п	Станция	Состояние озимых посевов осенью				Ожидаемое среднее по полю количество сохранившихся				Ожидаемая площадь (%) на поле с изреженностью			Ожидаемые условия перезимовки
		срок сева	число на 1 м²		кустистость	%		число на 1 м²		50 ∧	30—50	30 ∨	
			растений	стеблей		растений	стеблей	растений	стеблей				
1	Чарозеро	30 VIII	548	879	1,6	44	42	241	293	100	0	0	Очень плохие
2	Вологда-Молочное	21 VIII	350	952	2,7	75	62	252	590	0	8	92	Удовлетворительные
3	Бабаево	5 IX	560	973	1,7	42	44	235	428	100	0	0	Очень плохие
4	Устюжна	17 IX	602	602	1,1	19	17	114	120	100	0	0	То же
5	Биряково	9 IX	252	252	1,0	51	52	128	131	0	100	0	Плохие
6	Борисово-Судское	20 VIII	280	532	1,9	40	41	112	218	100	0	0	Очень плохие
7	Великий Устюг	16 VIII	300	700	2,0	66	66	198	462	20	20	60	Удовлетворительные
8	Кириллов	6 IX	376	376	1,0	55	65	207	248	46	13	41	Плохие
9	Никольск	5 IX	287	684	2,2	68	60	195	410	8	7	85	Удовлетворительные

Ожидаемое состояние озимых посевов весной 1966 г. по территории Вологодской области

Общая посевная площадь (тыс. га)	Площадь посевов на 15 I				Ожидаемая площадь посевов весной								
	с хорошим и удовлетворительным состоянием		с плохим состоянием		с хорошим и удовлетворительным состоянием		с большой изреженностью (> 50%)		с повышенной изреженностью (30—50%)		наиболее вероятная площадь с посевами в плохом состоянии		возможные пределы площади с посевами в плохом состоянии
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га
149	137	93	12	7	103	69	20	13	26	18	46	31	36—57

составлен также по установленным В. А. Моисейчик [18, 22] прогностическим зависимостям между площадью с погибшими при перезимовке посевами и осредненными по области (республике) значениями основных элементов комплекса агрометеорологических условий, вызывающих гибель растений от выпревания.

Основные факторы, от которых зависят размеры площади с погибшими зимой озимыми, были установлены с помощью электронной вычислительной машины.

По материалам за 15 лет были рассчитаны нормированные корреляционные матрицы. Коэффициент корреляции и корреляционные отношения подсчитывались по 18 элементам, характеризующим как состояние озимых посевов (размеры площади с погибшими после перезимовки посевами, средняя кустистость, площадь с плохим состоянием посевов осенью и средняя, изреженность озимых посевов зимой), так и агрометеорологические условия их зимовки. В последние включались: минимальная температура воздуха и почвы на глубине узла кущения в различные периоды зимы, сумма отрицательных температур воздуха, глубина промерзания почвы, максимальная высота снежного покрова за зиму (в конце ноября, декабря, января и февраля), продолжительность периода с высотой снежного покрова 30 см и более, сумма осадков за осенний и зимний периоды и др.

Площадь с погибшими за зиму посевами определялась как разность между площадью с погибшими озимыми (по данным ЦСУ СССР) и площадью с плохим состоянием озимых осенью, выраженной в процентах от всех посевов озимых культур по области ($S_b - S_o$). Корреляция определяемых таким образом размеров площади с погибшими посевами зимой устанавливалась с осредненными по области (краю, республике) результатами агрометеорологических наблюдений.

Корреляционные матрицы рассчитывались по четырем почвенно-климатическим зонам, на территории которых возделываются различные по зимостойкости сорта озимых культур:

1) зона возделывания славозимостойких сортов озимых (ячменя и пшеницы сорта Безостая 1) — южные районы степной зоны страны с неустойчивыми зимами;

2) зона возделывания средних и высокозимостойких сортов озимых (пшеницы — Мироновская 808, Мироновская юбилейная 50, Одесская 3, Одесская 51, «Прибой», Приазовская, Белоцерковская 198; ржи — Воронежская СХИ, Харьковская 55, Вятка и др.) — остальные районы степной зоны и лесостепная зона;

3) зона возделывания среднезимостойких и высокозимостойких сортов озимых — западные районы Украины, Белоруссия и Прибалтика;

4) зона возделывания высокозимостойких сортов озимых (пшеницы Ульяновка, ППГ-186, Кунцевская 45, Мироновская 808;

ржи — Вятка, Вятка 2, Казанская и др.) — большинство остальных районов нечерноземной зоны.

В итоге корреляционного анализа оказалось, что в первой и второй зонах, где основными причинами гибели озимых являются вымерзание, притертая к почве ледяная корка и осенняя засуха, размеры площади с погибшими посевами озимых культур главным образом зависят от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения (корреляционное отношение $\eta=0,94$, коэффициент корреляции $r=0,86$); средней по области глубины промерзания почвы ($\eta=0,92$, $r=0,71$); суммы отрицательных температур за весь период зимы ($\eta=0,60$, $r=0,54$); средней по области толщины притертой к почве ледяной корки ($\eta=0,78$, $r=0,78$); средней по области изреженности посевов при отрастании проб растений, взятых с полей 23 февраля ($\eta=0,92$, $r=0,87$); размеров площади (в процентах от общей площади озимых) с плохим состоянием посевов осенью ($\eta=0,40$, $r=0,35$); средней по области кустистости озимых осенью после прекращения вегетации ($\eta=0,50$, $r=0,38$).

В третьей и четвертой зонах, где основными причинами гибели растений являются вымокание и выпревание посевов, корреляционная зависимость между площадью с погибшими посевами к весне и средним по области значением агрометеорологических элементов оказалась достаточно тесной и в большинстве случаев, как и следовало ожидать, обратно пропорциональной. Например, зависимость этой площади от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения за период с первой декады ноября по 20 февраля характеризуется $\eta=0,76$, $r=-0,71$; от средней глубины промерзания почвы за декаду установления мощного снежного покрова (высотой 30 см и более) $\eta=0,77$, $r=-0,70$; от среднего числа декад с высотой снежного покрова 30 см и более за период с первой декады ноября до 20 февраля — нелинейная и прямо пропорциональная, $\eta=0,70$.

Как видно из приведенных корреляционных отношений и коэффициентов корреляции, осредненные по области значения агрометеорологических элементов достаточно хорошо характеризуют размеры площади гибели озимых зимой, при этом наибольшее влияние на перезимовку посевов оказывает минимальная температура почвы на глубине узла кущения за период с первой декады ноября до 20 февраля. В зоне выпревания, как и в зоне вымерзания, корреляционное отношение между площадью с погибшими посевами и температурой почвы на глубине узла кущения достаточно велико ($\eta=0,75$). Поэтому за основной предиктор во всех прогностических зависимостях нами была взята минимальная температура почвы на глубине узла кущения, осредненная по области (краю, республике).

Точность определения ее среднего значения весьма существенно

сказывается на точности прогноза и размерах площади с погибшими посевами [15].

Прогностическая зависимость размеров S_B с погибшими при выпреваниях посевами от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения до 20 февраля $\bar{t}_3$ имеет параболический характер и выражается уравнением

$$S_B = 13,12\bar{t}_3 + 0,84\bar{t}_3^2 + 54,86. \quad (23)$$

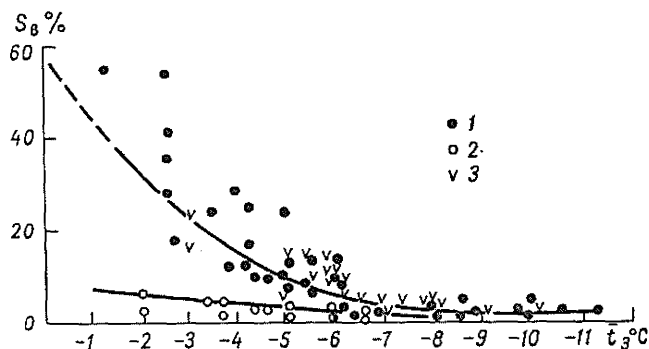


Рис. 49. Зависимость между площадью с погибшими от выпревания озимыми культурами S_B (%) и средней по области минимальной температурой почвы на глубине узла кущения $\bar{t}_3$ (°C) до 20 февраля.

1 — 1965/66 г., 2 — 1967/68 г., 3 — другие годы.

Корреляционное отношение $\eta=0,75$, средняя квадратическая ошибка уравнений $E_S=\pm 4,4\%$. Размерность коэффициентов: $\%/^{\circ}\text{C}$ и $\%/^{\circ}\text{C}^2$. Уравнение действительно при $\bar{t}_3$ выше -10°C , $n=65$ [18].

Однако в отдельных случаях отклонение фактических размеров площади с погибшими посевами от этой теоретической кривой достигали больших величин (10% и более, рис. 49). Так было в 1965/66 г., когда по отдельным областям фактические площади были несколько больше прогнозируемых по этой кривой связи, и в 1967/68 г., когда они были, наоборот, значительно меньше. Это объясняется тем, что уравнение не учитывает продолжительности залегания на полях мощного снежного покрова и особенностей условий погоды в период снеготаяния. Последние, как уже указывалось, хотя и в очень редких случаях (1968 г.), могут значительно уменьшить площадь с полностью погибшими посевами (до 5% и менее, рис. 49), если снег с полей сойдет в течение 3—5 дней. На основании этого можно предполагать, что мероприятия по ускорению схода снежного покрова с полей весной в нечерноземной зоне могут иметь большое положительное значение,

особенно если при этом обеспечен своевременный уход за посевами (подкормка с самолетов и раннее боронование).

В связи с тем что продолжительность периода со снежным покровом 30 см и более существенно сказывалась на размерах площади с погибшими посевами, в дальнейшем возникла необходимость учитывать и ее.

Общая прогностическая зависимость размеров площади с погибшими при выпревании озимыми посевами S_b от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кушения до 20 февраля $\bar{t}_3$ и продолжительности периода с высотой снежного покрова 30 см и более $\bar{n}$ имеет нелинейный характер и может быть выражена семейством параболических кривых. Уравнение этой зависимости имеет вид

$$S_b = 6,32\bar{t}_3 + 0,29\bar{t}_3^2 + 0,11\bar{n} + 0,07\bar{n}^2 + 30,93, \quad (24)$$

корреляционное отношение связи $\eta = 0,78$, число случаев $n = 65$; ошибка в пределах не более 5% площади обеспечена в 80% случаев, равная и менее 7% площади — в 90% случаев. Размерность коэффициентов у предикторов соответственно: %/°C, %/°C², %/день и %/день².

Расчет ожидаемой площади с погибшими посевами озимых культур производится по этой формуле 20—22 февраля, когда период со снежным покровом 30 см и более еще не закончился. Поэтому общая продолжительность его залегания прогнозируется сначала по отдельным станциям, а затем по полученным данным рассчитывается среднее по области значение $\bar{n}$. Для прогноза продолжительности периода n по отдельным станциям используется зависимость, приведенная на рис. 47.

Прогноз размеров площади с посевами озимых, погибшими при выпревании, может рассчитываться по двум указанным прогностическим зависимостям. Первая связь (только с минимальной температурой почвы) дает лучшие результаты в годы с очень высоким снежным покровом (максимальной высотой за зиму более 50 см) и длительным его залеганием (более 10 декад), когда, очевидно, имеет место не только выпревание растений зимой, но и вымокание их весной (например, в 1965/66 г. на западе Европейской территории СССР), вторая — во все остальные годы.

Судя по характеру этих зависимостей и аналогичным прогностическим связям размеров площади с погибшими посевами озимых культур при вымерзании [18, 22], можно предполагать, что оптимальные условия для перезимовки озимых культур создаются при минимальной температуре почвы на глубине узла кушения в пределах от —7 до —8°C. Размеры площади с погибшими посевами как от выпревания, так и от вымерзания при такой минимальной температуре почвы на глубине узла кушения оказались наименьшими.

При повышении минимальной температуры почвы на глубине узла кушения выше -7°C площади с погибшими посевами увеличиваются в результате выпревания растений (конечно, если на полях при этом длительный период залегает мощный снежный покров). При понижении температуры почвы ниже -8°C они также увеличиваются, но уже в результате вымерзания растений. Таким образом, зависимость между размерами площади с погибшими посевами озимых и средней по области минимальной температурой почвы на глубине узла кушения до 20 февраля имеет при вымерзании и выпревании одинаковый характер, но обратный знак. Учитывая это, при составлении долгосрочных агрометеорологических прогнозов для случаев, когда на полях снежный покров менее 20 см, следует пользоваться прогностическими связями, разработанными нами для вымерзания посевов [18, 22].

Если же на полях средняя по снегосъемке высота снежного покрова достигает 20 см и более хотя бы на части территории области, глубина промерзания почвы небольшая (менее 50 см) и минимальная температура почвы на глубине узла кушения выше -10°C , при составлении прогноза размеров площади с погибшими посевами следует пользоваться связями, полученными для прогноза выпревания растений. В естественных условиях минимальная температура почвы, глубина промерзания почвы и высота снежного покрова между собой взаимосвязаны. Поэтому обычно можно легко определить основную причину гибели озимых. Для этого лишь следует иметь и учитывать данные по этим основным элементам агрометеорологических условий перезимовки озимых зерновых культур в течение всего зимнего периода.

Площадь с погибшими посевами весной рассчитывается только для всех озимых культур в целом (ржи и пшеницы), так как в зоне выпревания растений возделывается в основном озимая рожь (на 80—100% площади озимых) и озимая пшеница таких сортов, которые, как показали исследования, повреждаются при выпревании почти одинаково.

В районах выпревания за плохие посевы принимаются озимые, которые будут списаны и не войдут в уборочную площадь. К ним относятся посевы, полностью погибшие, и посевы с изреженностью более 50% растений на большей половине поля (если они слабо-развитые, то на 30% поля). Посевы, поврежденные (даже с изреженностью 50% и более растений) на меньшей части поля (30—50%) при выпревании, как правило, не пересеваются, несмотря на то, что весной после схода с полей снежного покрова оцениваются как плохие. После подкормки и боронования (иногда и подсева) они в некоторые годы улучшают свое состояние, погибшая надземная масса восстанавливается. И хотя погибают главные побеги, вторичные побеги дают некоторый урожай. В такие годы фактическая площадь с плохими посевами, по данным весеннего

обследования (авиационного или наземного маршрутного), оказывается близкой к прогнозируемой с плохими посевами в результате выпревания, а площадь списанных посевов, по данным областных статистических управлений, оказывается меньше (как, например, в ряде областей в 1971 г.).

Долгосрочный прогноз выпревания озимых культур на территории области (республики) составляется дважды. Первый — по результатам расчетов ожидаемой изреженности посевов и площади по конкретным полям — дается с большой заблаговременностью: на следующую декаду после установления на полях снежного покрова высотой 30 см и более. Второй — по осредненным по области показателям — 20 февраля [18]. Заблаговременность второго прогноза также является достаточной для своевременной подготовки к уходу за поврежденными посевами и к пересеву погибших озимых весной яровыми культурами.

ВЕРОЯТНОСТЬ ВЫПРЕВАНИЯ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ СССР

Выпревание растений происходит вследствие длительного действия на них комплекса неблагоприятных факторов внешней среды. Как уже было показано ранее, основными элементами агрометеорологических условий, при которых озимые зерновые культуры страдают от выпревания, являются снежный покров, глубина промерзания и температура почвы на глубине залегания узла кущения растений. Вредное действие этих элементов на озимые культуры, вызывающее повреждение и гибель растений, сказывается при залегании на полях снежного покрова высотой 30 см и более и глубине промерзания почвы менее 80 см, а особенно менее 50 см, на протяжении более 50 дней [17—22]. При таких условиях минимальная температура почвы на глубине узла кущения удерживается в пределах 0, —5°C и способствует интенсивному расходу растениями углеводов, истощению их и заболеванию различного рода грибными болезнями, а также вытягиванию конусов нарастания и гибели наиболее продуктивных побегов, образовавшихся осенью.

Холодный период года, в течение которого растения находятся в состоянии вынужденного покоя, как по продолжительности, так и по суровости имеет на территории СССР большую пространственную изменчивость, которую необходимо учитывать при возделывании озимых зерновых культур [43]. На севере ЕТС зимовка озимых обычно начинается на 1,5—2 месяца раньше и заканчивается на столько же времени позже, чем на юге. Продолжительность периода зимнего покоя озимых в северных областях в два с лишним раза больше, чем в южных (180 дней вместо 80 дней). На Азиатской территории СССР она увеличивается с юго-запада на северо-восток в еще больших пределах.

Суровость зимы, которую можно охарактеризовать средней многолетней суммой отрицательных средних суточных температур воздуха, также увеличивается с юго-запада на северо-восток страны. Так, в Пермской и Свердловской областях она в 20 раз больше, чем в Краснодарском крае и Крымской области. Сумма отрицательных температур воздуха за год на юге ЕТС составляет

—100, —200°C, а на северо-востоке —1800, —2000°C. Средний из абсолютных минимумов температуры воздуха имеет такую же странственную изменчивость. На юге ЕТС он равен —20°C, а в Свердловской, Кировской и Пермской областях —40, —44°C.

Однако агроклиматические условия перезимовки озимых зерновых культур этой закономерности изменения по территории СССР не подчиняются. Наоборот, на севере и в центре ЕТС, где морозы бывают наиболее сильными, вымерзание озимых наблюдается редко. В связи с ранним установлением на полях снежного покрова, большой высотой и продолжительностью его залегания озимые там часто страдают от выпревания.

Снежный покров на северо-востоке ЕТС образуется на полях уже в конце октября — начале ноября, в центральных областях нечерноземной зоны — в конце ноября, а на Украине (кроме южных областей) — в конце декабря. Бывают годы, когда срок установления его на полях оказывается на 1—1,5 месяца раньше или позже средних многолетних.

Освобождение полей от снежного покрова происходит в Ростовской области и на юге Украины в середине марта, на территории, расположенной южнее линии Ленинград—Смоленск—Калуга—Тамбов—Саратов, — к 10 апреля. В Архангельской же, Кировской, Пермской и Томской областях устойчивый снежный покров разрушается лишь в первой декаде мая.

Сроки установления и схода снежного покрова имеют большое значение для перезимовки озимых. В лесной зоне раннее образование и поздний сход с полей снежного покрова, где продолжительность его залегания 160—190 дней, приводит к выпреванию растений.

Продолжительность периода со снежным покровом высотой 30 см и более в центральных областях нечерноземной зоны ЕТС равна 60—80 дням, а северо-восточнее линии Петрозаводск—Вологда—Уфа—Верхотурье (Свердловская область) — 80—120 дням. В Прибалтике, Белоруссии и в центральной черноземной зоне она менее 20 дней (рис. 50), поэтому вероятность выпревания озимых там мала.

Максимальная за зиму высота снежного покрова более 30 см на территории севернее линии Псков—Смоленск—Москва—Бугульма бывает более чем в 50% лет, а севернее линии Ленинград—Ярославль—Казань—Ижевск — в 80—100% лет. Средняя из максимальных за зиму высот снежного покрова на полях с озимыми культурами и повторяемость лет с максимальной за зиму высотой снежного покрова 30 см и более при различном значении средней из максимальных высот представлена на рис. 51 и 52. Максимальная за зиму высота снежного покрова, как видно на рис. 52, увеличивается от 10 см на юго-западе Украины до 60 см в Кировской и Пермской областях.

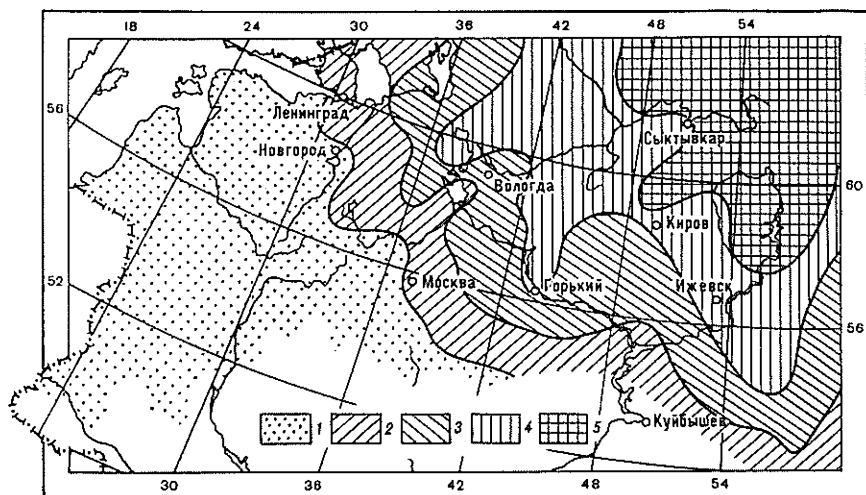


Рис. 50. Средняя многолетняя продолжительность залегания снежного покрова высотой 30 см и более на полях с озимыми культурами (дни).

Число дней: 1) <20, 2) 21—50, 3) 51—80, 4) 81—120, 5) >120.

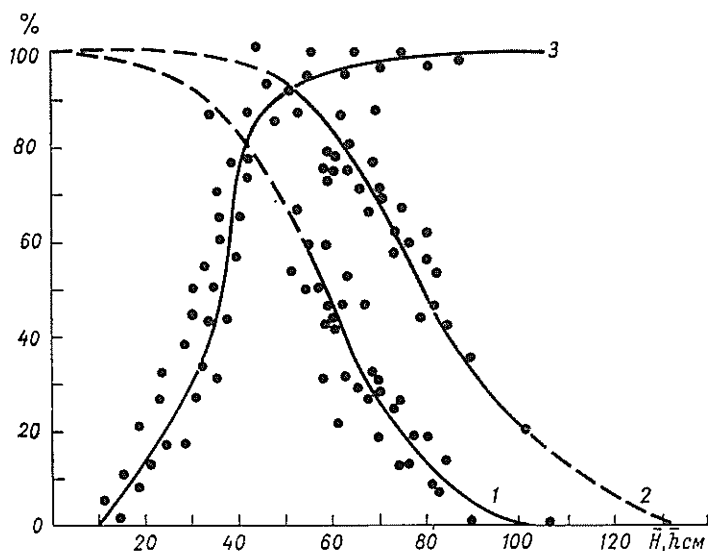
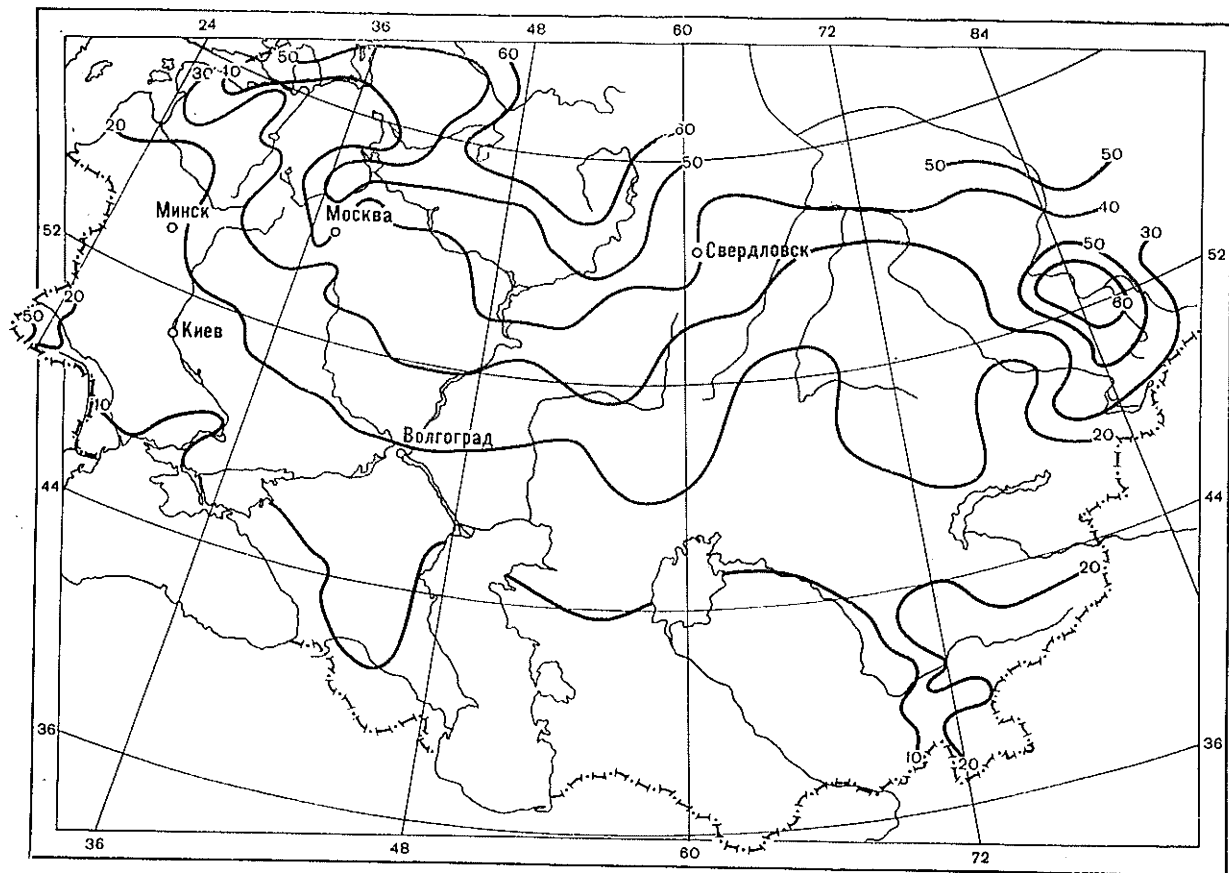


Рис. 51. Повторяемость лет (%) с максимальной за зиму высотой снежного покрова 30 см и более (3) и глубиной промерзания почвы H менее 50 см (1) и менее 80 см (2) при различном значении $\bar{h}$ и $\bar{H}$.



В связи с таким распределением по территории СССР снежного покрова, несмотря на большую суровость зимы, в северо-западных и центральных районах ЕТС глубина промерзания почвы меньше, чем в центральной черноземной зоне, на севере Украины и в Среднем Поволжье. Максимальная за зиму глубина промерзания почвы в среднем за 20 лет на севере и северо-востоке ЕТС оказалась равной 60—80 см, на Верхней Волге 80—90 см, в северо-западных, западных и центральных областях 50—70 см, а в центральной черноземной зоне, в Среднем Поволжье и на севере Украины 80—100 см и более. На ЕТС наиболее глубоко (на 100—130 см) промерзает почва в заволжских районах Куйбышевской, Саратовской областей, в Оренбургской области. В степных районах Западной Сибири, на Урале и в северной половине Казахстана она промерзает до 120—150 см, местами до 200 см.

В нечерноземной зоне ЕТС в отдельные годы глубина промерзания почвы колеблется от 0 до 150 см и более. Когда снежный покров устанавливается рано, почва в течение всей зимы бывает талой или промерзает не более чем на 50 см (1965/66, 1967/68 гг.). В Архангельской, Вологодской, Костромской, Ярославской, Ивановской, Кировской, Пермской областях и на севере Горьковской области менее чем на 50 см почва промерзает в 50% лет (см. рис. 50, 1), а южнее, до линии Смоленск—Калинин—Москва—Горький—Ижевск—Верхотурье,— в 30—50% лет [22].

Средняя многолетняя минимальная температура почвы на глубине залегания узла кушения озимых оказалась наиболее высокой (—8, —10°C) в нечерноземной зоне ЕТС (рис. 53). Повторяемость лет с минимальной за зиму температурой почвы на глубине узла кушения озимых —5°C и выше, при которой под мощным снежным покровом возможно выпревание растений (по данным наблюдений метеорологических станций за 20 лет — с 1956 по 1975 г.), составила в ряде районов Вологодской, Костромской, Кировской, Пермской областей более 50% лет; в Калининской, Ярославской областях, на севере Горьковской области, в Удмуртской АССР 31—50% лет, а в остальных районах нечерноземной зоны РСФСР и на севере Белоруссии 20—30% лет [22].

Выпревание растений происходит, как показано выше, при длительном пребывании растений под мощным снежным покровом, в темноте, при слабом промерзании почвы и температуре ее выше —5°C. Поэтому мы рассчитали повторяемость лет с количеством декад за зиму, равным 8 и более, с высотой снежного покрова 30 см и выше и максимальной глубиной промерзания почвы 50 см и менее (рис. 54). Оказалось, что наиболее часто такая продолжительность неблагоприятных условий зимовки наблюдается на северо-востоке нечерноземной зоны. Восточнее линии Вологда—Горький—Ижевск—Уфа такие условия в течение 8 декад и более повторяются в 30—50% лет. Велика вероятность (10—30% лет)

с большой продолжительностью неблагоприятных условий зимовки также в большинстве областей центрального района РСФСР. В южных и западных областях нечерноземной зоны РСФСР а также в Прибалтике большая продолжительность (опасная для

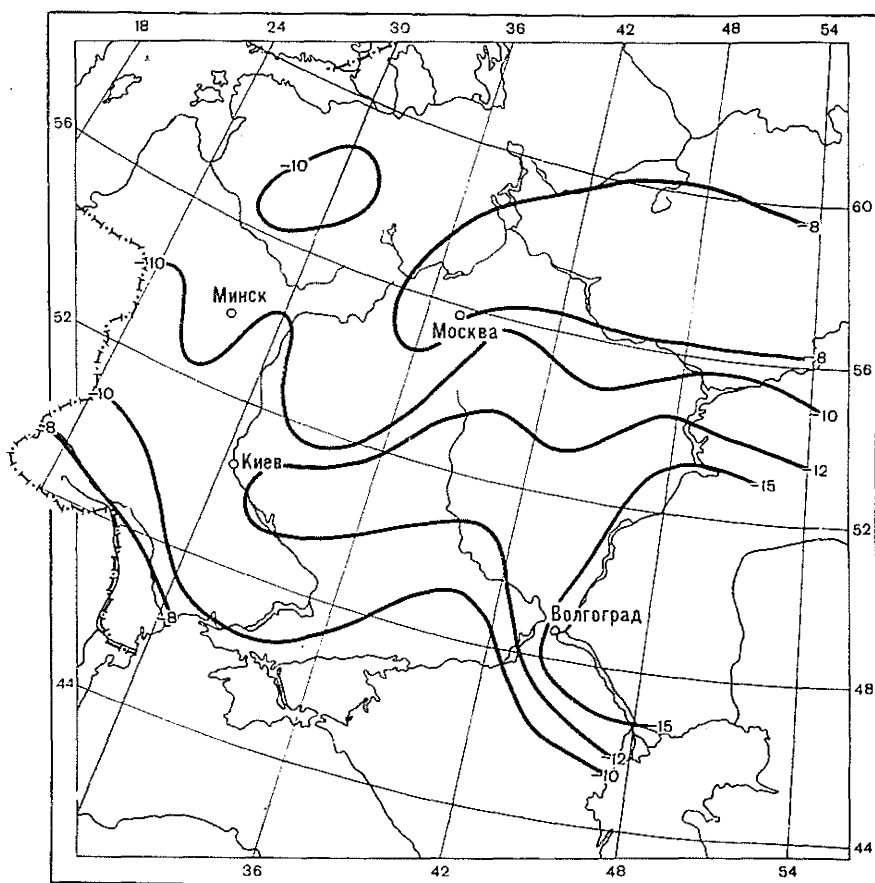


Рис. 53. Минимальная температура почвы на глубине узла кущения озимых (средняя из абсолютных минимумов с 1952 по 1971 г.).

озимых культур) залегания мощного снежного покрова при слабом промерзании почвы бывает редко, менее чем в 10% лет.

Однако в западных районах ЕТС температура на глубине узла кущения может удерживаться в близких к 0°C пределах не только при высоте снежного покрова 30 см и более, но и при меньшей высоте, так как температура воздуха там бывает выше, а глубина промерзания почвы меньше. Кроме того, озимые в этих районах

в осенний период проходят закалку при менее благоприятных условиях, количество сахаров у них бывает меньшим и поэтому для расхода сахаров на дыхание требуется более короткий период. При увеличении продолжительности залегания на полях снежного покрова высотой 30 см и более при глубине промерзания

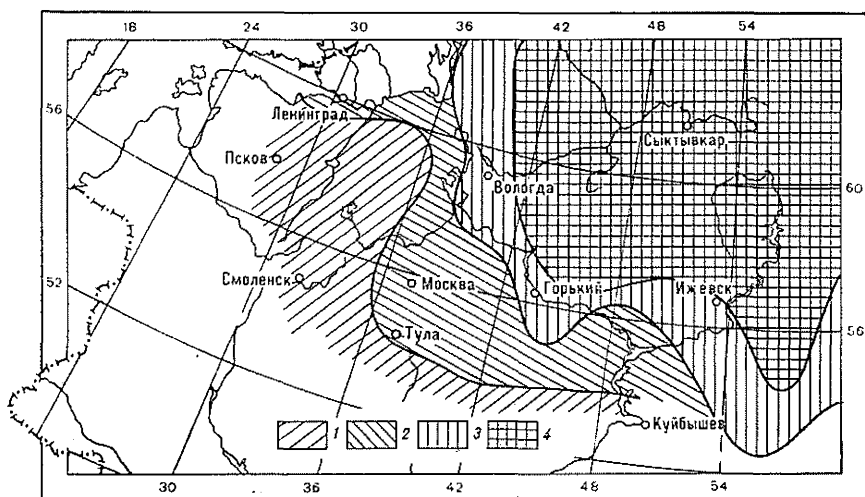


Рис. 54. Повторяемость лет (%) с количеством декад 8 и более при высоте снежного покрова 30 см и более и максимальной глубине промерзания почвы за зиму 50 см и менее.

1) <10%, 2) 11—20%, 3) 21—30%, 4) 31—50%.

почвы 50 см и менее увеличивается процент изреженности озимых растений и понижается валовой урожай озимых культур.

Для сравнения нашего районирования территории нечерноземной зоны по условиям выпревания с фактическими данными нами рассчитана повторяемость лет, в которые, по данным ЦСУ СССР, валовой урожай был равен 80% и ниже среднего многолетнего. Эти расчеты подтверждают нашу оценку условий перезимовки озимых культур. Снижение урожая наиболее часто (в 20% лет и более) бывает в северо-восточных и северных районах нечерноземной зоны, где наиболее вероятны условия, вызывающие выпревание растений. В северо-западных районах некоторое снижение урожая озимых в 10—20% лет объясняется повреждением посевов в результате вымокания, а в южных районах нечерноземной зоны — в результате вымерзания [22].

Снижение валового урожая озимых от выпревания в нечерноземной зоне РСФСР вполне может быть ликвидировано при учете агрометеорологических условий перезимовки и своевременном проведении необходимых мероприятий по борьбе с зимней гибелью растений.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Выпревание, как это видно из анализа агрометеорологических условий перезимовки озимых культур, значительно реже приводит к массовой гибели посевов по сравнению с вымерзанием и губительным действием ледяных корок. При этом выпревание наблюдается преимущественно в нечерноземной зоне ЕТС, где до последнего времени озимым посевам уделялось значительно меньше внимания, чем в черноземной зоне СССР, где озимые являются ведущими зерновыми культурами. Между тем снижение урожая озимых культур от выпревания в среднем на 20% наносило и сейчас наносит ощутимый ущерб зерновому хозяйству в РСФСР, Прибалтийских республиках, а также во многих районах Северо-Запада и Белоруссии. Сейчас, когда перед нечерноземной зоной СССР поставлены большие задачи повышения валового сбора зерна, ликвидация потерь урожая от выпревания должна способствовать их выполнению.

Еще в самых ранних работах по выпреванию отмечалось губительное влияние мощного снежного покрова на перезимовку озимых посевов. И на первом этапе, пока причины, вызывающие отмирание растений, не были ясны, предлагались некоторые приемы уплотнения снега или его раннего сгона с полей.

Фундаментальные исследования физиологических причин гибели озимых, выявление процессов усиленной траты углеводов, голодания растений, поражения ослабленных растений патогенными организмами открыли новые возможности для научной разработки и поисков эффективных приемов борьбы с выпревaniem.

В последние годы к изучению явлений выпревания и диагностики состояния озимых культур было привлечено внимание агрометеорологов, работающих в области перезимовки озимых культур. Одновременно с агрометеорологами, исследовавшими комплекс факторов, ведущих к выпреванию озимых культур, их распространение в разных районах СССР и за рубежом, значительно расширили исследования явлений выпревания физиологи, морфофизиологи, фитопатологи и растениеводы.

Исследования агрометеорологических условий, физиологических и биохимических процессов, а также изучение морфофизиологических особенностей состояния конусов нарастания в осенний, зимний и весенний периоды значительно расширили и углубили представления о причинах повреждений и гибели посевов, о закономерных связях между агроклиматическими условиями, определяющими выпревание озимых культур, и уровнем их урожайности.

На основе теоретических разработок и экспериментальных исследований предложен ряд агромероприятий, значительно снижающих ущерб, наносимый народному хозяйству выпреванием.

Во-первых, это мероприятия, направленные с осени на снижение вредоносности факторов, способствующих выпреванию растений, такие, как улучшение структуры, а также физических свойств почвы путем внесения навоза, торфа, зеленого удобрения; известкование кислых почв; отвод излишней влаги с озимых полей осенью и подготовка полевых канав для обеспечения стока талых вод в осенний, зимний и особенно весенний периоды.

Во-вторых, это агротехнические приемы, направленные на создание благоприятных условий для осеннего закаливания озимых, которое важно для повышения устойчивости как к вымерзанию, так и к выпреванию и способствует максимальному накоплению сахаров в надземных органах и особенно в узлах кущения. К агротехническим приемам относятся выбор и обеспечение оптимальных сроков сева, норм высева, а также осенняя подкормка калийными и фосфорными удобрениями; в тех случаях, когда почва не заражена фузариумом, может иметь значение предпосевное протравливание семян и обработка их препаратом тур. Очень существенное значение имеет селекция сортов, более устойчивых к выпреванию.

В-третьих, систематический агрометеорологический контроль еще с осени за ходом температур на глубине залегания узлов кущения и на поверхности почвы под снежным покровом, а также биологический контроль за конусами нарастания растений с тем, чтобы при необходимости провести уплотнение снежного покрова и таким образом способствовать снижению температуры поверхностных слоев почвы до -5 , -7°C .

В-четвертых, создание условий, ускоряющих таяние снега на полях весной, что снижает вредоносное действие снежной плесени и других патогенных грибов, а также корневых гнилей. Сгон снега можно проводить тогда, когда уже нет опасности возврата морозов.

Ранней весной необходим особенно тщательный уход за озимыми посевами, пострадавшими от выпревания. Прежде всего с помощью боронования нужно обеспечить удаление листьев, пораженных снежной плесенью. Одновременно ранняя весенняя подкормка минеральными или жидкими органическими удобрениями

усилит рост побегов кущения, находящихся на I этапе органогенеза, ускорит их развитие, а вторая подкормка при выходе в трубку перед переходом к III—IV этапам органогенеза будет способствовать лучшему развитию и росту зачаточного колоса.

Существующие методы диагностики состояния растений на конкретных участках и на больших территориях позволяют более успешно разрабатывать научные основы защиты озимых от выпревания. Эти же методы позволяют своевременно составлять прогнозы перезимовки посевов и их урожайности, что крайне важно для хозяйственных и планирующих органов.

Основными задачами в новой пятилетке являются селекция новых сортов озимой пшеницы и озимой ржи интенсивного типа устойчивых к условиям перезимовки на полях Нечерноземья а также дальнейшая разработка системы агроприемов защиты озимых от выпревания и их применение в колхозах и совхозах в которых в ближайшие годы будут расширяться площади озимых посевов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонин Н. С., Кузина Е. В. Влияние свойств почв, удобрений и условий зимовки на стойкость и урожай озимой пшеницы.— «Вестн. МГУ», 1962, сер. 6, № 3, с. 6—11.
2. Бондаренко В. И. Влияние возрастных изменений на зимостойкость и продуктивность озимой пшеницы.— В кн.: Проблемы индивидуального развития с.-х. растений. М., «Колос», 1972, с. 40—42.
3. Васильев И. М. Зимовка растений. М., Изд-во АН СССР, 1956, 250 с.
4. Вериго С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. Л., Гидрометеиздат, 1963, 288 с.
5. Виноградова В. В. Стимуляторы и ингибиторы роста в процессе закаливания и перезимовки озимой пшеницы. Бюлл. ВИР, 1972, вып. 24, с. 51—57.
6. Кулик М. С. Методическое пособие по составлению долгосрочных агрометеорологических прогнозов средней областной урожайности озимых зерновых в нечерноземной зоне. М., Гидрометеиздат, 1971, 24 с.
7. Куперман Ф. М. Физиология устойчивости пшеницы.— В кн.: Физиология с.-х. растений. Изд-е МГУ, 1969, с. 401—500.
8. Куперман Ф. М., Чирков Ю. И. Биологический контроль за развитием растений на метеорологических станциях. Л., Гидрометеиздат, 1970, 146 с.
9. Куперман Ф. М., Моисейчик В. И. Методическое пособие по оценке состояния озимых культур в осенне-зимне-весенний период методом биологического контроля. М., Гидрометеиздат, 1973, 20 с.
10. Куперман Ф. М., Моисейчик В. А., Быкова М. С. Зимостойкость районированных в СССР сортов пшениц в условиях бесснежья, нормального и избыточного снежного покрова.— «Труды научн. конференции МГУ». Изд-е МГУ, 1975, с. 210—222.
11. Личикаки В. М. Перезимовка озимых культур. М., «Колос», 1974, 208 с.
12. Мельцер Р., Пономарев В. И. О применении метода морфофизиологического анализа в исследованиях продуктивности сортов пшеницы.— «Вестн. МГУ, сер. Биология и почвоведение», 1967, № 6, с. 6—11.
13. Моисейчик В. А. Оценка условий перезимовки озимых культур на юго-востоке Европейской территории СССР.— «Труды ЦИП», 1955, вып. 41 (68), с. 3—20.
14. Моисейчик В. А. Значение для перезимовки озимых культур степени развития растений осенью.— «Метеорология и гидрология», 1966, № 5, с. 26—31.
15. Моисейчик В. А. Точность агрометеорологических наблюдений и оправдываемость прогнозов перезимовки озимых культур.— «Труды Гидрометцентра СССР», 1968, вып. 14, с. 3—23.
16. Моисейчик В. А. О пространственной изменчивости минимальной температуры почвы на глубине залегания узла кущения озимых культур.— «Труды Гидрометцентра СССР», 1971, вып. 85, с. 33—46.

17. Моисейчик В. А. Методические указания по составлению долгосрочного прогноза выпревания озимых зерновых культур. М., Гидрометеониздат, 1971, 40 с.
18. Моисейчик В. А. Методы составления долгосрочных агрометеорологических прогнозов перезимовки озимых культур на территории областей, республик и в целом по СССР. М., Гидрометеониздат, 1972, 104 с.
19. Моисейчик В. А. Влияние агрометеорологических условий на состояние конуса нарастания у озимых зерновых культур зимой.— В кн.: Проблемы индивидуального развития с.-х. растений. (Рефераты докл. Всесоюз. симпозиума, г. Одесса.) М., ВАСХНИЛ, 1972, с. 192—193.
20. Моисейчик В. А. Характеристика состояния озимых культур зимой по результатам отраживания проб растений.— «Труды Гидрометцентра СССР», вып. 130, 1973, с. 51—66.
21. Моисейчик В. А. Методика агроклиматического районирования условий перезимовки зерновых озимых культур.— «Труды Гидрометцентра СССР», 1973, вып. 130, с. 18—33.
22. Моисейчик В. А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. Л., Гидрометеониздат, 1975, 295 с.
23. Петунин И. М. Методика составления прогноза условий перезимовки озимой пшеницы и ржи.— В кн.: Сб. методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. Л., Гидрометеониздат, 1957, с. 105—129.
24. Полагин Э. Г., Моисейчик В. А. Расчет на ЭВМ термического режима почвы для оценки перезимовки озимых культур.— «Труды Гидрометцентра СССР», 1976, вып. 174, с. 33—45.
25. Проценко Д. Ф., Власюк П. А., Колоша О. И. Зимостойкость зерновых культур. М., «Колос», 1969, 383 с.
26. Пухальский А. В. Повреждение озимых хлебов грибом склеротиния.— «Социалистическое растениеводство», 1937, № 21, с. 53—61.
27. Пыклик К. М. Агрометеорологические условия перезимовки озимых зерновых культур на территории Эстонской ССР.— «Сб. работ Таллинской УГМС Эстонской ССР», 1964, вып. 2, с. 43—69.
28. Разумова Л. А. Руководство по контролю при обработке наблюдений над влажностью и промерзанием почвы. Л., Гидрометеониздат, 1955, 30 с.
29. Ремесло В. Н. и др. Мироновские пшеницы. М., «Колос», 1976, 288 с.
30. Романова Л. Н. Зимостойкость озимых культур и физиологические основы, ее обуславливающие. Автореф. канд. дисс. М., 1966, 16 с.
31. Рыбакова М. И. Динамика олигосахаридов как косвенный показатель степени зимостойкости сортов озимой пшеницы и ржи.— «Научн. тр. НИИСХУЦРНЗ», 1970, вып. 25, т. 1, с. 118—127.
32. Сумгин М. И., Качурин С. П., Толстихин М. И., Тумель В. Ф. Общее мерзлотоведение. М., Изд-во АН СССР, 1940, 340 с.
33. Тиунова К. П. Повышение зимостойкости и урожайности озимой пшеницы на северо-востоке Европейской части СССР.— «Агробиология», 1959, № 3, с. 11—16.
34. Туманов И. И., Бородин И. Н., Олейникова Т. В. Роль снежного покрова при перезимовке озимых посевов (выпревание).— «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции», 1935, сер. 3, № 6, с. 3—57.
35. Туманов И. И. Физиологические основы зимостойкости культурных растений. Л., Сельхозгиз, 1940, 366 с.
36. Тупеневич С. М. Склеротиния на озимых хлебах в Кировской области и Удмуртской АССР.— «Труды Кировского областного НИИ краеведения», 1939, № 16, 33 с.
37. Тупеневич С. М. Отношение сортов озимых пшениц и снежной плесени в связи с их стадийным развитием.— «Вести. защиты растений», 1940, № 1—2, с. 260—267.
38. Тупеневич С. М. Выпревание озимых хлебов весной.— «Труды ВНИИЭР», 1966, вып. 28, с. 126—130.

39. Уланова Е. С. Методическое пособие по составлению долгосрочного прогноза урожая озимой пшеницы в районах черноземных почв Украины, Северного Кавказа и Молдавии. М., Гидрометеониздат, 1965, 30 с.
40. Уланова Е. С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л., Гидрометеониздат, 1975, 302 с.
41. Чирков Ю. И. Применение на агрометеорологических станциях метода определения жизнеспособности озимых культур по состоянию конуса нарастания.— «Метеорология и гидрология», 1955, № 5, с. 47—48.
42. Шульгин А. М. Агрометеорологические условия перезимовки озимых культур в СССР.— «Вестн. с.-х. науки», 1960, № 3, с. 109—115.
43. Шульгин А. М. Климат почвы и его регулирование. Л., Гидрометеониздат, 1972, 342 с.
44. Яковлев Н. Н. Климат и зимостойкость озимой пшеницы. Л., Гидрометеониздат, 1966, 419 с.
45. Benkova M. A., Repka J. A. Contribution to the organogenesis of winter wheat under the conditions of Southern Slovakia. Sb. vysokej školy Polnohospodarsky v Nitra. Agronomická fakulta. Nitra-Praha, 1964, p. 65—72.
46. Stachyra T. Wypzenia ozdooz.— „Ochrona roslin“, 1969, N 13, c. 16—18.
47. Spaldon E., Repka J. A., Benkova M. A. Morphophysiological study of winter wheat during cryptovegetation. Biologické Práce, 1970, vol. 16, N 7, p. 1—49.
48. Салчева Г. Възху някой протепи на свободниите аминокислини през време на перезимуването на зимните пшеница. София, Изд. на Болгарската Академия на науките, 1961, 60 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Экспериментальные исследования физиологических процессов, вызывающих выпревание озимых растений	8
Исследования процессов роста и развития растений в осенне-зимне-весенний период как факторов формирования зимостойкости озимых культур	34
Основные агрометеорологические факторы, вызывающие выпревание озимых культур, и закономерности их сезонного изменения	89
Количественная оценка агрометеорологических условий зимовки и состояния озимых культур в районах с мощным снежным покровом	118
Влияние агрометеорологических условий на валовой сбор зерна и площадь погибших от выпревания озимых культур	128
Методы составления долгосрочных прогнозов выпревания озимых культур	139
Вероятность выпревания озимых культур в различных зонах СССР	155
Вместо заключения	162
Список литературы	165

Фаина Михайловна Куперман
Вера Александровна Моисейчик

ВЫПРЕВАНИЕ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР

Редактор А. Б. Котиковская. Художник В. А. Баканов. Техн. редактор М. И. Брайнина
Корректор В. И. Гинцбург

ИБ № 527

Сдано в набор 19/1 1977 г. Подписано к печати 22/IV 1977 г. М-20144. Формат 60×84¹/₁₆. Бум. тип. № 1. Усл. печ. л. 9,77. Уч.-изд. л. 11,19. Тираж 3200 экз. Индекс АЛ-45. Заказ № 78. Цена 1 р. 73 к. Гидрометеоиздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23. Ленинградская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.