

ОЦЕНКА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСЛОВИЙ ЗИМОВКИ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ОБЛАСТЯХ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Л.Л. Тарасова

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
lydia_tarasova@mail.ru*

Возделывание зерновых культур является важнейшей частью сельскохозяйственного производства. Особое место занимают озимые зерновые культуры, которые всегда были главным русским хлебом, их роль в продовольственном обеспечении России трудно переоценить. Озимые зерновые культуры возделываются практически во всех зерносеющих районах России, им отданы большие площади плодородных черноземных земель Северного Кавказа, юга Центрального и Приволжского федеральных округов.

Сейчас, по данным Росстата, доля озимых в общих валовых сборах зерновых культур в России составляет около 40–60 %. Причем можно предполагать, что в будущем значение озимых будет только возрастать. Это связано как с экономическими причинами – осенний сев существенно снижает трудовые затраты и нагрузку на технику, так и с агроклиматическими – быстрое развитие посевов весной дает им возможность более полно пользоваться ресурсами почвенной влаги.

Ценность озимых зерновых культур не только в их высокой урожайности. По данным В.А. Федорова, новые хозяйственно ценные сорта твердой озимой пшеницы не уступают по зимостойкости

традиционным, а по качеству зерна, содержанию белка и стекловидности близки к лучшим яровым сортам [18]. Именно поэтому доля озимых, как дающих более стабильные урожаи, будет расти и впредь.

Однако все преимущества озимых культур наиболее полно реализуются в годы с хорошей перезимовкой. Понятно, что в неблагоприятные по условиям перезимовки годы валовые сборы зерна озимых резко снижаются [12].

Сохранность посевов, с одной стороны, зависит от агротехнических факторов, т. е. от сроков сева и качества выполнения посевных работ, севооборота, защиты растений от болезней и вредителей и т. п. С другой стороны, погодные условия могут быть как благоприятными (и в этом случае даже некоторые огрехи земледельца не скажутся на качестве и количестве урожая), так и суровыми, вплоть до гибели посевов из-за вымерзания, выпревания, ледяной корки, вымокания, а также в результате комплекса неблагоприятных факторов. Именно поэтому изучению агрометеорологических условий формирования урожайности озимых зерновых культур, и в первую очередь озимой пшеницы, посвящены десятки работ.

Вопрос зимовки растений особенно актуален в свете современных изменений климата. В ряде работ [2, 3, 13] показано, что в целом годовые максимумы температуры летом на территории России менее характеризуют глобальное потепление, чем годовые минимумы (зимние экстремумы), т. е. статистически значимые изменения температуры воздуха приурочены именно к холодному периоду, а изменение климата в первую очередь сказывается в потеплении зим.

Именно поэтому изучение агрометеорологических условий зимовки и отклика сельскохозяйственных культур на наблюдаемые изменения климата является актуальной и практически важной задачей.

База данных

Нами проведен агроклиматический анализ условий зимовки посевов в центральных черноземных областях (ЦЧО) за период

с 1965 по 2012 г. В качестве границы «до значительных изменений климата» и «в период» нами был условно принят 1990 год. Таким образом весь период мы разделили на два подпериода (зимы 1965/1966–1990/1991 и 1991/1992–2012/2013 гг.), для которых и искали связи урожайности озимых зерновых культур с условиями зимовки.

Вопрос о более точном делении на подпериоды «до изменения климата» и «в период изменения климата» в свете рассматриваемой проблемы не представляется принципиальным. На рис. 1, 2, 4, 5, где представлена динамика за весь исследуемый период, видно, что наиболее яркие события, формирующие диполь «до» и «в период» климатических изменений, приурочены к 60–70-м годам прошлого века и началу XXI века. Следует оговорить, что в качестве экспериментов рассматривались и другие варианты деления на подпериоды, но принципиального различия в полученных результатах не было.

В нашем распоряжении были архивы отдела агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России, содержащие информацию о площадях гибели посевов зимой (доли площадей с плохим состоянием посевов весной), среднеобластных значениях температуры почвы на глубине узла кущения и высоте снежного покрова на полях с озимыми культурами декадного и месячного разрешения. Использовались также данные ВНИИГМИ-МЦД по температуре воздуха, количеству осадков и высоте снежного покрова по рейке на станции суточного разрешения по станциям Рыльск (Курская область), Богородицкое-Фенино (Белгородская область), Каменная Степь (Воронежская область) и Тамбов (Тамбовская область).

Основные факторы, определяющие условия зимовки озимых зерновых культур

Гибель озимых культур в период зимовки, как правило, происходит в результате вредного влияния на растения комплекса неблагоприятных условий. Лишь в отдельные годы она бывает вызвана сильными морозами, но именно из-за морозов озимые погибают на больших площадях.

Термический режим почвы

Температура почвы на глубине узла кушения формируется под влиянием совместного действия температуры воздуха и снежного покрова. Даже кратковременное понижение ее ниже критической приводит к повреждению или даже гибели растений [5].

Величина температуры на глубине узла кушения может служить также показателем степени воздействия среды на зимостойкость посевов, с помощью которого можно оценить агроклиматические ресурсы района, где высевают озимые культуры.

Общеизвестно, что в ЦЧО основным зимним повреждающим фактором является очень низкая температура почвы на глубине узла кушения, приводящая к вымерзанию посевов. В зависимости от сортовых особенностей, степени развития растений, агрометеорологических условий в период осенней закаливания критическая температура вымерзания будет варьировать. По данным И.И. Туманова [17], при благоприятных условиях морозоустойчивость озимой пшеницы к концу второй фазы закаливания может составлять $-18...-22^{\circ}$, озимой ржи — $-20...-25^{\circ}$. В течение зимы морозоустойчивость растений также не константна. В первой половине зимы устойчивость несколько повышается, достигая своего максимума в январе. При неустойчивой погоде с частыми оттепелями и установлением снежного покрова на слабoproмерзшую почву растения существенно снижают зимостойкость.

Негативные последствия действия погоды на посевы оценивают по административным единицам, поэтому и анализ термического режима почвы традиционно ведется по областям. Зависимость изреженности посевов от средней по области минимальной за зиму температуры почвы имеет нелинейный характер. По данным В.М. Личикаки и В.А. Моисейчик [6, 10], при средней по области температуре почвы в диапазоне $-7...-5^{\circ}$ изреженность близка к нулю, а при понижении до -15° она резко возрастает. Здесь нужно заметить, что выбирается именно минимальная за зиму температура и длительность действия морозов не учитывается.

На рис. 1 представлены средние по областям значения минимальной за зиму температуры почвы на глубине узла кушения (3 см).

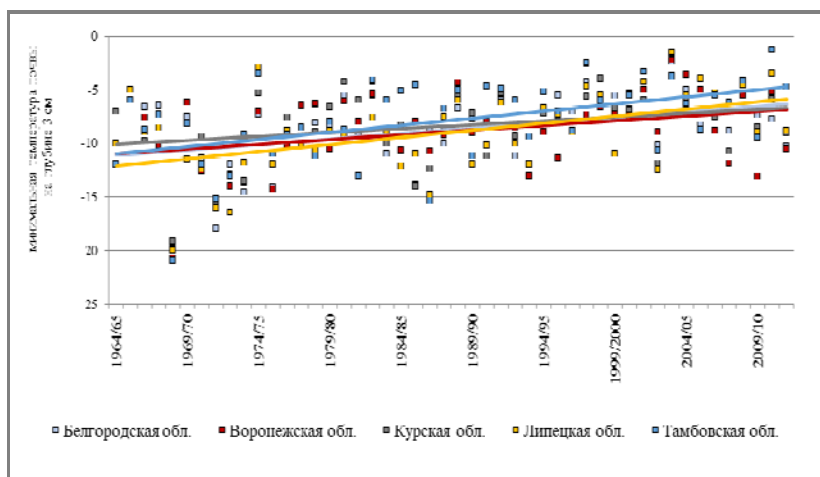


Рис. 1. Средний из абсолютных минимумов температуры почвы на глубине узла кущения.

Если за период 1965–1990 гг. в ЦЧО отмечались годы с температурой почвы близкой к -15° и ниже (в наиболее холодные зимы 1968/1969 и 1971/1972 гг. температура почвы понижалась до -21° ... -18°), то после 1990 г. таких лет не было. Лишь в отдельных областях в наиболее суровые зимы этого периода (1993/1994, 2003/2004 и 2009/2010 гг.) она была -13° ... -12° .

На рис. 1 четко прослеживается повышение фона температуры почвы в ЦЧО. В среднем по всем областям температура почвы в период 1965–1990 гг. составляла $-9,5^{\circ}$, а за период 1991–2012 гг. – $-7,1^{\circ}$. Важно, что наклон тренда во всех областях совпадает и составляет $0,7$ – $1,3^{\circ}/10$ лет, и такая тенденция сохраняется, даже если мы исключаем из выборки наиболее суровые зимы 1968/1969 и 1971/1972 гг. Интересно отметить, что за этот же период, по данным Северо-Евразийского климатического центра (<http://seakc.meteoinfo.ru>), тренд зимней температуры воздуха составил $0,4$ – $0,6^{\circ}/10$ лет, т. е. почти в два раза ниже. Столь значительный тренд температуры почвы объясняется, по-видимому, отопляющим действием снежного покрова, средняя высота которого также растёт.

Согласно классификации А.М. Шульгина [19], центральные черноземные области принадлежат к району с мягким климатом почвы зимой (средний абсолютный минимум температуры почвы на глубине узла кущения -8...-12°), и условия зимовки здесь оценивались как хорошие, так как в 9 из 10 лет наблюдались оптимальные условия и лишь в одном году отмечалось вымерзание посевов (табл. 1). Полученные нами оценки термического режима почвы за период с зимы 1964/1965 по зиму 1989/1990 года полностью соответствуют приведенным в работе Шульгина данным.

Таблица 1

Температурный режим почвы на глубине залегания узла кущения

Области	Период*	Абсолютный минимум температуры почвы на глубине узла кущения, °С			Количество зим с температурой, %				Климат почвы зимой	Оценка условий перезимовки
		средний	максимальн	минималн.	выше -5°	-15...-5°	ниже -15°	в том числе ниже -20°		
Белгородская	I	-10,0	-5,5	-19,8	0	92	8	0	мягкий	хорошие
	II	-7,3	-2,4	-12,0	9	91	0		оч. мяг.	отличные
Воронежская	I	-9,8	-4,4	-20,7	4	88	8	4	мягкий	хорошие
	II	-7,9	-2,3	-13,1	9	91	0		оч. мяг.	отличные
Курская	I	-9,2	-4,3	-19,2	8	85	8	0	мягкий	хорошие
	II	-7,4	-3,7	-11,9	14	86	0		оч. мяг.	отличные
Липецкая	I	-10,6	-3,0	-20,0	4	85	12	0	мягкий	хорошие
	II	-7,1	-1,5	-12,5	27	73	0		оч. мяг.	отличные
Тамбовская	I	-9,4	-3,5	-21,0	12	77	12	4	мягкий	хорошие
	II	-6,0	-1,3	-10,7	36	64	0		оч. мяг.	отличные

Примечание: * I – зимы с 1964/1965 по 1989/1990 г; II – зимы с 1990/1991 по 2011/2012 г.

Во втором рассмотренном нами периоде (зимы с 1990/1991 по 2011/2012 г.) наблюдается не просто некоторое повышение фона температуры, а смена термического режима. Как мы уже отмечали,

холодных зим в этот период не было. Возросло число очень теплых зим, когда температура почвы на глубине залегания узла кушени была выше -5° . Теперь ЦЧО можно отнести к району с очень мягким климатом почвы зимой и отличными условиями перезимовки озимых. Такое изменение температурного режима должно сказаться на сохранности озимых культур, так как вымерзание посевов зимой становится маловероятным.

Таким образом, на основе полученных закономерностей можно утверждать, что изменения климата почвы в ЦЧО значимы и положительны с точки зрения оценки условий зимовки сельскохозяйственных культур. Однако можно предположить, что в теплые снежные зимы будет возрастать вероятность выпревания, особенно если при густых сильно раскустившихся посевах под снежным покровом образуется воздушная прослойка.

Снежный покров

В большом числе работ показано увеличение высоты снежного покрова в период изменения климата по сравнению с предшествующим периодом [1, 7, 15]. Однако с точки зрения зимовки растений важна не столько высота, сколько продолжительность залегания высокого снежного покрова, определяющая условия газообмена зимующих посевов [9].

В силу того, что снегосъемка на полях с зимующими культурами проводится один раз в декаду, что не позволяет точно определить период залегания снежного покрова, для анализа нами выбиралась высота снега на станции. Для анализа продолжительности залегания снежного покрова нами использованы данные по станциям Богородицкое-Фенино (Белгородская область), Рыльск (Курская область), Каменная Степь (Воронежская область) и Тамбов (Тамбовская область). Эти станции были выбраны, с одной стороны, как устойчиво работающие (длиннорядные), с другой стороны, на портале ВНИИГМИ-МЦД по ним доступен полный набор метеорологической информации. В силу того, что снежный покров образуется под действием процессов регионального масштаба, примем, что в других пунктах режим снежного покрова аналогичен.

Для каждой выбранной станции оценивалось число дней со снежным покровом более 2 см (табл. 2). Можно видеть, что длительные многоснежные и короткие малоснежные зимы наблюдались и в период до 1990 г., и после него. Однако в среднем продолжительность залегания снежного покрова практически не изменилась. Невязку до 3 дней будем считать незначимой.

Таблица 2

Продолжительность залегания снежного покрова

Станции	Период	Число дней со снежным покровом более 2 см		
		среднее	максимальное	минимальное
Богородицкое-Фенино	I	93	129	18
	II	104	152	46
Рыльск	I	85	127	38
	II	87	127	41
Каменная Степь	I	96	133	36
	II	94	148	26
Тамбов	I	122	145	87
	II	117	166	56

Примечание: I – зимы с 1964/1965 по 1989/1990 г.; II – зимы с 1990/1991 по 2011/2012 г.

По данным станции Рыльск, изменений нет ни в средних, ни в экстремальных значениях продолжительности. Наиболее значимые различия числа дней со снежным покровом получены нами по станции Богородицкое-Фенино, где средняя продолжительность увеличилась на 10 дней, а максимальная на 20 дней. Однако основной вклад здесь вносят бесснежные зимы 1964/1965 и 1967/1968 гг., когда за зиму было всего 18 и 32 дня со снежным покровом соответственно. Если исключить их из анализа, то и по этой станции получаются незначительные изменения продолжительности.

На рис. 2 показаны отклонения продолжительности залегания снежного покрова от среднего, нормированные на стандартное отклонение за весь исследуемый период по станции Тамбов. Аналогичные отклонения нами получены и по другим станциям. Здесь

периодом залегания мы считаем период от даты установления снежного покрова в начале зимы до его полного разрушения весной. Этот период нельзя в полной мере назвать периодом с устойчивым снежным покровом, т. к. в ЦЧО, особенно в юго-западных районах, довольно часто высота снега небольшая, и при сильных оттепелях он сходит.

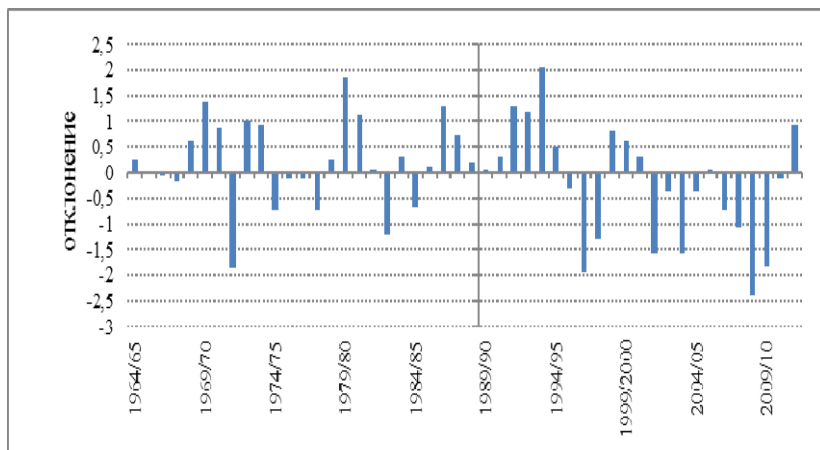


Рис. 2. Нормированные отклонения продолжительности залегания снежного покрова по станции Тамбов.

Можно видеть, что для периода с 1990 по 2012 г. характерны отклонения в отрицательную сторону: зимы стали короче по сравнению с периодом с 1964 по 1990 г. Также можно отметить, что увеличилась частота аномальных по продолжительности зим. Например, по данным станции Тамбов, в период до 1990 г. было четыре длинных зимы и две коротких (8 % за 26 лет), а после 1990 г. уже три и семь (32 % за 22 года) соответственно. По станции Богородицкое-Фенино частота коротких зим увеличилась с 19 до 50 %.

Резюмируя вышесказанное, можно утверждать, что в средняя многолетняя продолжительность периода залегания снежного покрова осталась на прежнем уровне, но существенно увеличилась ее межгодовая изменчивость.

Не изменилось и число лет с высоким (более 30 см) снежным покровом. По данным В.А. Моисейчик, условия для зимовки посевов ухудшаются, если высокий снежный покров залегает более 5 декад. На западе и юге ЦЧО (Рыльск, Богородицкое-Фенино, Каменная Степь) такое явление бывает крайне редко (наблюдалось лишь в 1966/1967, 1967/1968 и 2005/2006 гг.). На востоке региона (Тамбов) высокий снежный покров, залегающий в течение 2 месяцев и более, наблюдается примерно в 20 % лет, причем частота повторения снежных зим не меняется.

Далее были проанализированы даты установления и разрушения снежного покрова. По всем четырем станциям получается, что устойчивый снежный покров в период после 1990 г. устанавливается примерно на неделю позже по сравнению с периодом с 1964/1965 по 1989/1990 год.

Анализируя тренды дат установления и разрушения снежного покрова, можно уловить следующую тенденцию. Первые коэффициенты линейного тренда дат установления снежного покрова положительные, т. е. снег ложиться позже, а дат разрушения – отрицательные, т. е. сходит раньше. Однако достоверность аппроксимации линейных трендов мала, так как в этом регионе могут наблюдаться как короткие зимы с бесснежными «окнами», так и длительные зимы.

В качестве примера на рис. 3 приведены данные по станции Богородицкое-Фенино (юго-запад ЦЧО). Видно, что наибольшая высота снежного покрова наблюдается уже в конце января – начале февраля, а не как прежде в конце февраля – начале марта. Такое смещение дат можно объяснить как увеличением числа оттепелей во вторую половину зимы, теплыми и ранними веснами, так и обильными снегопадами в начале зимы, связанными с прохождением южных циклонов [8].

Аналогичное распределение было получено и для других станций. Что касается изменения средних за выделенные периоды значений высоты снега, то они не велики. Наиболее значимы различия в высоте снега до и после 1990 г. получены для южной части ЦЧО, но и здесь они составляют всего 2–5 см, что никоим образом не может сказаться ни на режиме газообмена зимующих растений, ни на влагообеспеченности посевов весной.

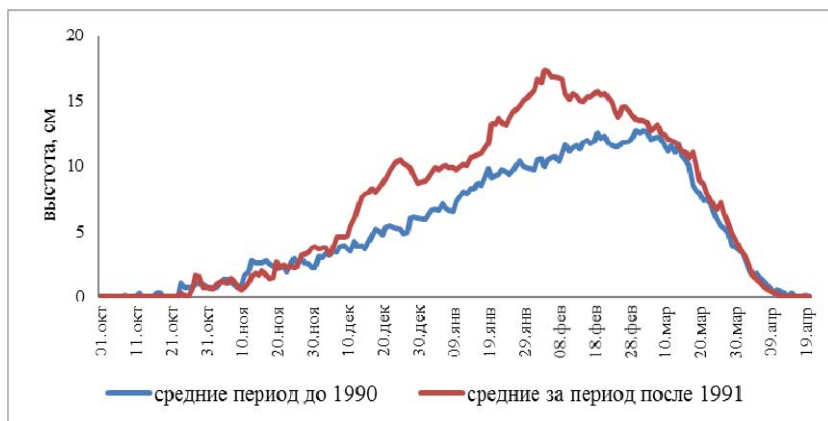


Рис. 3. Средняя высота снежного покрова по станции Богородицкое-Фенино.

Наиболее значимые изменения в режиме снежного покрова произошли в некотором смещении дат наступления и схода, а также дат с наибольшей за зиму высотой снежного покрова, но период залегания снежного покрова и число зим с продолжительным залеганием высокого снежного покрова остался практически без изменений. Таким образом, можно утверждать, что высказанный ранее тезис о возможном увеличении вероятности выпревания посевов при большой длительности залегания снежного покрова является лишь гипотетическим.

Ледяная корка

Образование в снежном покрове ледяной корки, особенно притертой к почве, также ведет к повреждению озимых, но в меньшей степени, и влияние ее на урожайность озимых слабее. Но в отдельные годы (1965, 1971, 1977, 1981, 1995 гг.), особенно когда ее распространение на полях зимой совпадает с сильными морозами, повреждения бывают значительными [12].

Детальный анализ распространения ледяной корки достаточно затруднителен, так как это явление имеет локальный характер, связанный с особенностями рельефа местности и, следовательно, с особенностями стока талой воды и распространения волн тепла

в снежном покрове. Нельзя исключить, что ледяные корки не диагностируются только потому, что маршрутная снегосъемка «не увидела» ее. Поэтому в агрометеорологической литературе указывается на негативное влияние притертой ледяной корки, но динамика развития и последствия ее влияния на посевы озимых культур приводятся лишь по отдельным авторским экспериментам или наблюдениям на базе сортоучастков и т. п. Определенное развитие этого вопроса достигнуто в рамках математического моделирования характеристик снежного покрова [4]. Больше внимание уделяется анализу условий формирования ледяной корки.

Примером такой аномалии может служить зима 1964/1965 г., детальный агрометеорологический анализ которой был проведен В.А. Моисейчик [10]. Однако интересно проследить синоптические условия формирования ледяной корки в ряде районов ЦЧО в январе 1965 года.

По данным, любезно предоставленным отделом долгосрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России, в декабре 1964 г. над территорией юга европейской России господствовал вынос теплого воздуха, обусловленный активной циклонической деятельностью на полярном фронте. Адвекция теплого воздуха была столь значительной, что температура повышалась до 5...8°. Осадки в декабре 1964 г. выпадали в виде дождя. Затем в первой декаде января 1965 г. резко похолодало. Похолодание было обусловлено прохождением холодного фронта 6 января, причем на синоптических картах можно проследить, что осадки на фронте выпадали в виде дождя, а последующий заток холодного и сухого воздуха из Сибири привел к быстрому замерзанию влаги на поверхности почвы, промерзанию почвы и понижению температуры на глубине узла кушения озимых до -15...-12°, что могло быть опасным для слабо-развитых посевов.

Интересно отметить, что развитие атмосферных процессов над европейской частью России зимой 2015/2016 гг. аналогичен вышеизложенному, за тем исключением, что в этом году похолоданию предшествовали снегопады, обеспечившие лучшие условия для растений. Зимой 2015/2016 гг. температура почвы на глубине узла кушения озимых понижалась до некритичных значений (-6...-8°).

В конце января при потеплении (на фоне положительной температуры днем и отрицательной ночью) наблюдалось образование ледяной корки на отдельных полях, но толщина ее была небольшой (менее 1 см), и губительного действия на посевы сельскохозяйственных культур она не оказала.

Приведенный пример лишний раз доказывает важность анализа конкретных событий, так или иначе влияющих на зимовку сельскохозяйственных культур, а не ограничиваться лишь рассмотрением общих закономерностей.

Суровость зимы

Для комплексной оценки условий зимнего периода А.В. Поповым [14] был предложен параметр W_i – суровость зимы:

$$W_i = \frac{\Delta T}{\sigma_T} + \frac{\Delta R}{\sigma_R},$$

где T – температура воздуха; R – количество осадков; Δ – отклонения от средней величины; σ – среднее квадратическое отклонение. Для расчета используются значения этих метеоэлементов, осредненные за три месяца (с декабря прошлого года по февраль текущего года). При разделении зим приняты следующие градации параметра W_i : суровая (менее -2,0), малоснежная и холодная (от -1,9 до -0,6), нормальная (-0,6...0,6), многоснежная и теплая (более 0,6). Такое разделение зим в целом соответствует принятому разделению по градациям аномалии температуры воздуха. Линейная корреляция температуры воздуха и параметра W_i составляет 0,70–0,75.

На рис. 4 приведена динамика индекса суровости зимы для двух областей за весь исследуемый период. Эти области были выбраны как самая теплая (Белгородская обл.) и самая холодная (Тамбовская обл.) из всех ЦЧО.

Можно утверждать, что в последние десятилетия в ЦЧО зимы стали более теплыми и многоснежными, что должно положительно повлиять на зимовку растений. Если в период до 1990 г. из 32 зим 14–18 (45–60 %) были холодными, а теплыми и многоснежными

лишь 8–12 (25–38 %), то в период после 1990 г. за 22 года холодных зим было лишь 4–8 (18–36 %), зато теплых уже 7–11 (33–50 %).

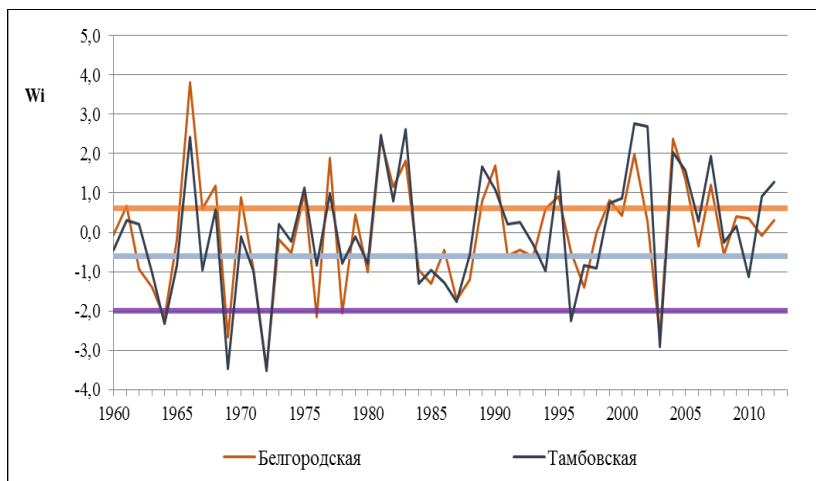


Рис. 4. Параметр W_i – суровость зимы по Белгородской и Тамбовской областям.

В целом по ЦЧО в среднем за периоды с 1959/1960 по 1989/1990 и с 1990/1991 по 2011/2012 гг. параметр суровости зимы изменился мало (с -0,4...-0,2 до 0,2...0,4), однако в первую очередь нам важно наличие тенденции к улучшению условий зимовки.

Перезимовка озимых

Рассмотренные изменения в термическом и снеговом режиме в первую очередь, проявляются в заметном снижении площадей с плохим состоянием посевов весной (рис. 5). Анализируя представленную динамику, нужно учитывать, что рассматриваются повреждения посевов не только от вымерзания и других неблагоприятных условий зимовки, но определенный вклад вносят и условия осени. На рис. 5 видно, что средний уровень процента гибели озимых в период после 1990 г. существенно ниже, нежели в предшествующий период.

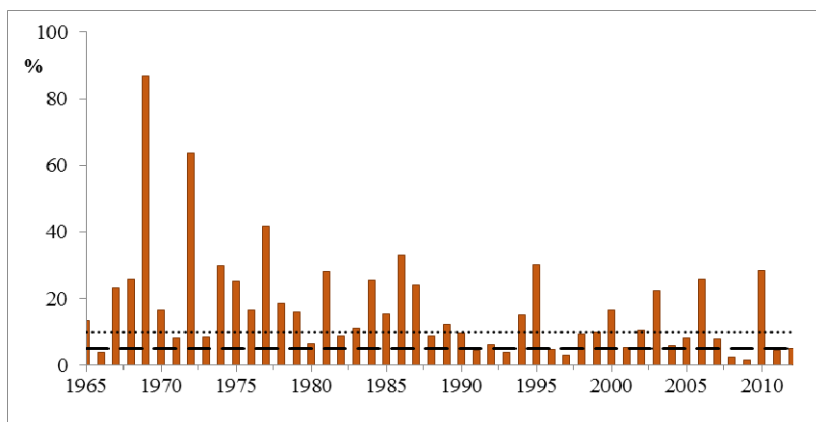


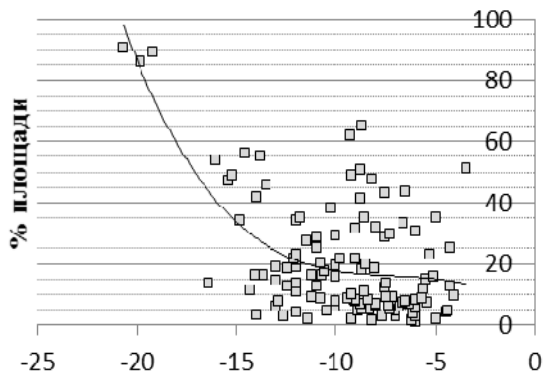
Рис. 5. Гибель озимых зерновых культур в ЦЧО по данным на весну в % посевной площади.

На рис. 5 пунктирной линией показан уровень 5 %, соответствующий по А.И. Яковлеву «совершенно незначительной гибели», и коротким пунктиром показан уровень 10 % – «небольшая гибель, практически не влияющая на конечную урожайность» [20]. В период с 1965 по 1990 г. таких зим с небольшой гибелью (менее 10 % посевов) было всего семь, т. е. менее 30 % от всех зим, а с незначительной (менее 5 %) лишь одна.

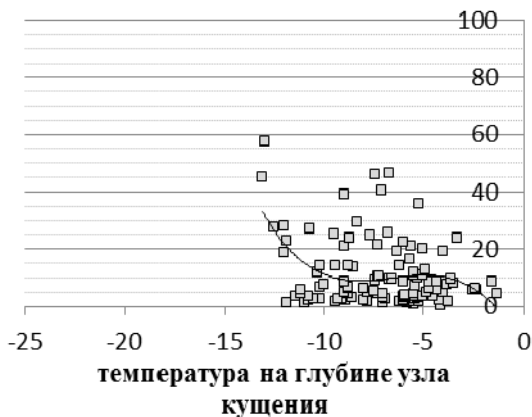
В период с 1990 г. такие зимы стали нормой – с небольшой гибелью было уже 15 зим, или почти 70 %, с незначительной – семь (более 30 %). Более того, в этот период было лишь три зимы с большой гибелью посевов (плохое состояние посевов на 20 % площадей и более): 1994/1995, 2005/2006 и 2009/2010 гг. – годы с неблагоприятными условиями в период осенней вегетации.

В среднем за период с 1965 по 1990 г. процент с плохим состоянием посевов весной в ЦЧО варьировал от 17 до 26 %, в период с 1990 г. он понизился до 8–13 %. Уменьшилась и изменчивость этой величины. Среднее квадратическое отклонение процента площадей с плохим состоянием в период до 1990 г. было 20–24 %, а после 1990 г. оно составляло всего 7–16 %. На рис. 5 видно, что максимальный уровень гибели посевов за зиму в этот период не превышает обычного для предшествующего периода.

Однако связано ли заметное улучшение сохранности посевов только с изменением агрометеорологических условий зимовки? На рис. 6 приведены зависимости площадей с плохим состоянием озимых зерновых культур весной от средней по области минимальной за зиму температуры почвы на глубине узла кушения.



а)



б)

Рис. 6. Зависимость площадей с плохим состоянием озимых весной (в % от посевной) от средней по области минимальной за зиму температуры почвы на глубине узла кушения (3 см): зимы 1965/1966–1989/1990 гг. (а), 1990/1991–2011/2012 гг. (б).

Для каждого периода построен полиномиальный «тренд». Полином 3 порядка выбран, с одной стороны, как наиболее статистически значимый (с наибольшей величиной коэффициента аппроксимации), так и для того, чтобы показать агрофизические закономерности процесса (резкое нарастание гибели посевов при понижении температуры ниже критической). Как уже указывалось, плохое состояние и гибель озимых культур в период зимовки зависят от многих факторов, а не только от термического режима почвы, поэтому приведенное на рис. 6 облако точек довольно широко. Вместе с тем этому фактору традиционно уделяется повышенное внимание в силу того, что из всех агрометеорологических факторов наибольший вред посевам причиняет именно вымерзание.

Видно, что линия за период с 1990 г лежит существенно ниже линии за период до 1990 г. Так, при понижении температуры почвы на глубине узла кущения до -10° средняя гибель была около 20 % (рис. 5 а), а в настоящее время (после 1991 г.) она составляет около 5 % (рис. 5 б), т. е. в настоящее время отклик зимующих посевов на неблагоприятные условия слабее, нежели он был в период до 1990 г.

Столь резкие изменения можно объяснить только изменениями в технологии сельскохозяйственного производства и сменой сортосостава озимых зерновых культур, так как сопоставимо резких изменений в условиях среды не произошло, о чем указывалось выше. По мнению большинства видных ученых Ф.М. Куперман, В.М. Личикаки, В.А. Моисейчик, И.И. Туманова, А.М. Шульгина, А.И. Яковлева и др., перезимовка растений определяется не только критическими минимумами температуры, но и всей агротехникой подготовки почвы, посева и ухода за растениями в осенний, зимний и ранневесенний периоды, способствующей проявлению потенциальной устойчивости сорта, либо, наоборот, ведущей к ее снижению.

Полученные зависимости чрезвычайно важны для оперативного мониторинга условий зимовки и для оценки вымерзания озимых культур. Современный метод прогноза вымерзания базируется на зависимостях, полученных по уже устаревшим данным, а поэтому требует некоторой переработки.

Выводы

Таким образом, в ЦЧО наблюдаемые изменения климата благоприятны для зимовки озимых зерновых культур, так как из-за потепления зим вероятность вымерзания посевов в этом регионе сократилась. Улучшение агротехнического потенциала и целенаправленная селекционная работа значительно повысили устойчивость озимых зерновых культур к неблагоприятным условиям зимовки. Поэтому можно ожидать существенного увеличения урожаев этих культур в ЦЧО, что, безусловно, положительно скажется на продовольственном обеспечении населения России.

Автор выражает благодарность Т.А. Максименковой, Н.А. Богомоловой, В.А. Тищенко и Н.В. Сатиной за предоставленные материалы и консультации.

Работа выполнена в рамках НИР Росгидромета 1.1.7.1(1) «Метод долгосрочного прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур с учетом условий перезимовки озимых культур в Черноземной зоне России».

Список использованных источников

1. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коришнуова Н.Н. Снежный покров на территории России и его пространственные и временные изменения за период 1966–2010 гг. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2011. – Т. 24. – С. 211–227.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – 1008 с.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Известия РАН. ФАО. – 2003. – Т. 39, № 2. – С. 66–185.
4. Казакова Е.В., Чумаков М.М., Розинкина И.А. Модель для расчета характеристик снежного покрова на основе данных стандартной метеорологической сети // Труды Гидрометцентра России. – 2014. – Вып. 352. – С. 85–102.
5. Куперман Ф.М., Пономарев В.И. Диагностика зимостойкости озимых зерновых культур. – М.: ВНИИТЭИСХ МСХ СССР, 1971. – 133 с.
6. Личикаки В.М. Перезимовка озимых культур. – М.: Колос, 1974. – 207 с.
7. Мещерская А.В., Белянкина И.Г., Голод М.П. Мониторинг толщины снежного покрова в основной зернопроизводящей зоне бывшего

СССР за период инструментальных наблюдений // Известия РАН. Серия географ. – 1995. – № 4. – С. 101–111.

8. *Мирвис В.М., Гусева И.П.* Изменения в режиме оттепелей на территории России // Труды ГГО. – 2007. – Вып. 556. – С. 101–115.

9. *Моисейчик В.А.* О продолжительности залегания мощного снежного покрова и перезимовке озимых культур // Метеорология и гидрология. – 1964. – № 9. – С. 10–16.

10. *Моисейчик В.А.* Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 295 с.

11. *Моисейчик В.А., Шавкунова В.А.* Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая озимой ржи. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 165 с.

12. *Моисейчик В.А., Богомолова Н.А., Страшная А.И., Максименкова Т.А.* Влияние глобального изменения климата на агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая озимых зерновых культур в России за последние 50 лет // Труды ВНИИСХМ. – 2007. – Вып. 36. – С. 106–132

13. *Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том 1. Изменения климата.* – М.: Росгидромет, 2008. – 227 с.

14. *Попов А.В.* О возможности прогноза теплых многоснежных и холодных зим малоснежных зим // Труды Гидрометцентра СССР. – 1975. – Вып. 156. – С. 77–84.

15. *Попова В.В.* Структура многолетних колебаний высоты снежного покрова в Северной Евразии // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 8. – С. 78–88.

16. *Сиротенко О.Д.* Методы оценки изменений климата для сельского хозяйства и землепользования. – М.: Росгидромет, 2007. – 77 с.

17. *Туманов И.И.* Физиологические основы зимостойкости растений. – М.; Л.: Сельхозиздат, 1940. – 366 с.

18. *Федоров В.А., Козлобаев В.В., Власова Л.М.* Зимостойкость, урожай и качество зерна разных сортов озимой твердой пшеницы в условиях лесостепи Воронежской области // Вестник ВГАУ. – 2012. – № 2. – С. 22–26.

19. *Шульгин А.М.* Климат почвы и его регулирование. – Л.: Гидрометиздат, 1967. – 302 с.

20. *Яковлев А.И.* Климат и зимостойкость озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 419 с.

Поступила в редакцию 01.02.2016 г.