

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 551.524.37 (502.313)

DOI: 10.15372/GIPR20230108

Е.С. ВОЛКОВА, М.А. МЕЛЬНИКИнститут мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
634055, Томск, пр. Академический, 10/3, Россия, elevolko@yandex.ru, melnik-m-a@yandex.ru

ЗАМОРОЗКИ В ЮЖНОЙ ТАЙГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КАК ФАКТОР РИСКА ДЛЯ СФЕРЫ РАСТЕНИЕВОДСТВА

По результатам статистического анализа материалов многолетних наблюдений проведена оценка пространственно-временного проявления заморозков воздуха на территории южной тайги Западной Сибири. Несмотря на то что устойчивый переход среднесуточной температуры через 5 °С за последний 15-летний период стал наступать раньше в среднем на 5–7 дней, сохраняется высокая вероятность ежегодного возникновения заморозков на всей территории исследования. Наблюдается пространственная дифференциация продолжительности и интенсивности заморозков: среднегодовое количество дней с заморозками в воздухе с мая по сентябрь изменяется от 7,5 на юго-западе до 12 на северо-востоке и существенно варьируется по годам. За последний 35-летний период наибольшее количество дней с заморозками зафиксировано в 1986, 1988, 1989, 1991, 1998, 2006 и 2010 гг. Диапазон изменчивости среднесезонной продолжительности периода без заморозков составляет около 40 дней. На исследуемой территории заморозки представляют собой значительный рискоформирующий фактор для сельского хозяйства. С целью уменьшения рисков в сфере растениеводства рассчитана вероятность возникновения заморозков по декадам весенних, летних и осенних месяцев. Отмечается, что наибольшие риски для местной системы растениеводства связаны с поздними весенними заморозками. Даже в третьей декаде мая вероятность их наступления составляет от 18 до 32 %, а в северо-западной части вероятность возникновения заморозков в первой декаде июня превышает 10 %. При этом число случаев с наиболее опасными поздними весенними заморозками, при которых температура опускается до –3 °С и ниже, за последние десятилетия, по данным большинства метеостанций исследуемого района, уменьшается. В целом по региону не исключается высокая вероятность возникновения заморозков в последующие годы, особенно в весенне-летний период.

Ключевые слова: агроклиматические опасности, вероятность проявления заморозков, беззаморозковый период, вегетационный период, пространственно-временной анализ.

E.S. VOLKOVA, M.A. MEL'NIKInstitute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences, 634055, Tomsk, pr. Akademicheskii, 10/3, Russia,
elevolko@yandex.ru, melnik-m-a@yandex.ru

FROSTS IN SOUTHERN TAIGA OF WESTERN SIBERIA AS A RISK FACTOR FOR PLANT PRODUCTION

Based on a statistical analysis of long-term observations, an assessment is made of the spatio-temporal distribution of frosts in the southern taiga of Western Siberia. In spite of the fact that a steady crossing of the average daily temperature of 5 °C during the last 15 years occurred 5–7 days earlier, on average, there still remains a high likelihood for the onset of frosts every year throughout the study territory. A spatial differentiation of the duration and intensity of frosts is observed; the average annual number of days with frosts from May to September changes from 7.5 in the south-west to 12 in the north-east and significantly varies from year to year. Over the last 35-year period the largest number of days with frosts was recorded in 1986, 1988, 1989, 1991, 1998, 2006 and 2010. The range of variability in the average long-term period without frosts is about 40 days.

Frosts are a significant risk-forming factor for agriculture in the study area. To reduce risks in plant production, the probability that frosts occur in spring, summer and autumn is calculated for 10-day periods. It is noted that the greatest risks to the local system of plant production depend on late spring frosts. The probability of frosts in the third 10-day period of May is from 18 to 32 %, and the probability of frosts in the first 10-day period of June for the northwestern part exceeds 10 %. In recent decades, however, the number of events with the most dangerous late spring frosts with the temperature drops to -3°C and below for most weather stations in the study area has been decreasing. In the region as a whole, a high probability of frosts in the following years cannot be excluded, especially for the spring-summer period.

Keywords: *agroclimatic hazards, probability of frost distribution, period without frosts, growing season, spatio-temporal analysis.*

ВВЕДЕНИЕ

Оптимальные условия для развития сельского хозяйства на территории таежной равнинной зоны Западной Сибири наблюдаются в ее южной части, т. е. в подзоне южной тайги. Она граничит на юге с лесостепной и степной зонами, где сельское хозяйство развито гораздо лучше; на севере — со среднетаежной подзоной, где ведение сельского хозяйства уже связано с большими природными рисками. Согласно Перечню лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации [1], исследуемая территория включает южные районы Тюменской и Томской областей, северные и центральные районы Омской, Новосибирской и Кемеровской областей; дополнительно сюда относят и часть Красноярского края. Из всей таежной зоны только здесь успешно функционируют многие отрасли сельского хозяйства, включая растениеводство.

Несмотря на то что в данной местности условия для растениеводства более благоприятные, чем на соседних северных территориях, на его устойчивое развитие негативно влияют опасные природно-климатические явления, наблюдающиеся здесь довольно часто [2]. Среди опасных явлений, которые ведут к снижению урожайности или гибели сельхозкультур, по величине ущерба на первом месте находятся засухи, на втором — заморозки [3]. При этом заморозки на территории Западной Сибири наблюдаются с большей периодичностью, чем засушливые дни.

По определению Гидрометцентра России, заморозки — это понижение температуры воздуха и/или поверхности почвы (травостоя) до значений ниже 0°C на фоне положительных средних суточных температур воздуха в периоды активной вегетации сельхозкультур или уборки урожая, приводящее к их повреждению, а также к частичной или полной гибели урожая сельхозкультур [4]. Кроме того, заморозки причиняют косвенный ущерб, который выражается в снижении биологической продуктивности растений, отставании их в развитии, изменении их экологических функций и т. д.

Несмотря на более раннее наступление вегетационного периода, риски, связанные с заморозками, могут повышаться. Это объясняется прежде всего тем, что более мягкая зима и раннее наступление теплой весны могут вызвать преждевременное развитие растений, которое при последующих поздних заморозках приводит к резкому снижению их продуктивности [5]. Также отмечается, что потери из-за заморозков во время цветения обычно даже более значительны, чем из-за низких зимних температур [6]. Риски возрастают и по причине того, что многие хозяйства начинают выращивать новые культуры и сорта, не вполне адаптированные к местным природно-климатическим условиям.

Изучению природы заморозков, их территориальным особенностям и методам борьбы с ними в нашей стране всегда придавалось особое значение [7–10]. Еще в 1949 г. И.А. Гольцберг дал детальную характеристику заморозков на территории всей страны и описал методы борьбы с этим опасным явлением [7].

В настоящее время обширный обзор климатических характеристик заморозков для всей территории России более чем за 80-летний период, проведенный Н.Н. Коршуновой и С.Г. Давлетшиным [11], показывает уменьшение безморозного (беззаморозкового) периода в северных областях европейской территории России и центральных районах Западной Сибири. В.М. Мирвис и И.П. Гусева [12] отмечают, что на фоне увеличения продолжительности вегетационного периода во многих районах нашей страны не наблюдалось тенденции к увеличению безморозного периода. Такая ситуация может иметь отрицательные последствия, связанные с поражением растений заморозками в период активной вегетации. Анализ заморозков в Западно-Сибирском регионе детально выполнен для отдельных субъектов. Л.И. Кижнер и А.А. Кизеева [13, 14] в своих работах рассматривают экономические аспекты обеспечения метеорологической информацией о заморозках в Томской области; Л.В. Воронина и А.В. Зарубина [15] исследуют заморозки как экологически опасные явления в Новосибирской области.

Пространственное распределение заморозков, их интенсивность, повторяемость и продолжительность зависят от многих причин: географического положения, атмосферных процессов, особенностей

рельефа, влияния водных объектов и т. д. Это предопределяет три типа заморозков: адвективные, связанные с вторжением холодных воздушных масс; радиационные, возникающие вследствие интенсивного ночного излучения подстилающей поверхности; адвективно-радиационные, образующиеся при вторжении холодной массы с последующим выхолаживанием за счет ночного излучения [16].

В силу разного характера заморозков их распределение по территории весьма неоднородно, существенно изменяется по годам и имеет трудно прогнозируемый характер. Так, повторяемость заморозков в Новосибирской области с 2004 по 2008 г., по данным 20 метеостанций, имеет сильную изменчивость [15]. В Томской области наблюдается аналогичная ситуация, когда среднемноголетнее число дней с заморозками в воздухе, по данным метеостанции Томск, колебалось от 2 в 2007 г. до 14 в 2006 г. В территориальном масштабе разброс значений еще более существенный: на северной границе южной тайги Томской области в отдельные годы заморозки в воздухе могут продолжаться 26 дней.

Цель данного исследования — установление территориальных особенностей и пространственно-временных закономерностей проявления заморозков в южнотаежной подзоне Западной Сибири, направленное на снижение рисков в сфере растениеводства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа временной динамики и пространственного распределения заморозков в регионе исследования были использованы непрерывные массивы метеоданных ООО «Расписание погоды» (<http://www.rp5.ru>) с 2005 по 2021 г. по 32 метеостанциям, которые расположены в пяти субъектах Западно-Сибирского федерального округа. Дополнительно были проанализированы данные нескольких станций из соседних регионов для более точного пространственного моделирования с использованием базового ГИС-инструмента — интерполяции. Более длительные ряды наблюдений, начиная с 1973 г., были получены из массива данных метеостанций, включенных в базу Национального центра экологической информации Управления океанических и атмосферных исследований США (National Centers for Environmental Information NOAA) (www.noaa.gov).

Исходя из дат устойчивого перехода среднесуточной температуры через 5 и 10 °С, а также учитывая среднемноголетнюю сумму активных температур по большинству представленных метеостанций и основные сроки посадки и уборки сельхозкультур, произрастающих в регионе исследования, для анализа заморозков был выбран временной интервал с 1 мая по 30 сентября. Именно в этот период происходит вегетация многих местных сельскохозяйственных культур.

Многолетние пространственно-временные закономерности проявления заморозков наиболее результативно анализируются с помощью статистического анализа многолетних рядов метеоданных и ГИС-технологий. Пространственный анализ проводился в рамках программного обеспечения ArcGIS, в котором был сформирован ГИС-проект, состоящий из картографического архива и фактологических данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пространственно-временной анализ массива метеоданных по заморозкам показывает высокую вероятность их возникновения на всей территории южной тайги Западной Сибири. Несмотря на тенденцию к потеплению климата, практически ни один год не обходится без этого опасного для ведения сельского хозяйства явления.

Поскольку заморозки рассматриваются на фоне положительных среднесуточных температур, важным элементом в их оценке является анализ изменения термического режима в весенний период. Наиболее важный показатель для местной системы растениеводства, как отмечалось выше, — устойчивый переход среднесуточной температуры через 5 и 10 °С. Анализ этих показателей представлен в таблице по четырем станциям, расположенным в различных районах южнотаежной зоны Западной Сибири.

Сроки устойчивого перехода среднесуточных температур через 5 и 10 °С по данным метеостанций, расположенных в пределах южной тайги Западной Сибири

Станция	Устойчивый переход среднесуточных температур			
	через 5 °С		через 10 °С	
	1999–2006 гг.	2007–2021 гг.	1999–2006 гг.	2007–2021 гг.
Мариинск	28.04	16.04	13.05	13.05
Томск	30.04	21.04	12.05	16.05
Кыштовка	25.04	19.04	10.05	14.05
Тобольск	24.04	19.04	14.05	11.05

Если сравнивать два 15-летних периода — 1999–2006 и 2007–2021 гг., то видно, что устойчивый переход среднесуточной температуры через $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ стал наступать за последние 15 лет на 9–10 дней раньше для более восточных станций Томск и Мариинск. Для западных станций Кыштовка и Тобольск эти даты сдвинулись на 5–6 дней. Однако устойчивый переход через $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ не показывает значительного смещения на более ранние сроки, для Томска и Кыштовки наблюдается даже более позднее наступление данного перехода. Увеличилась также продолжительность периода от устойчивого перехода среднесуточной температуры через $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до устойчивого перехода через $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ по всей территории южной тайги Западной Сибири. В своей работе Э.С. Фомин и Т.И. Фомина [17] также говорят об увеличении вегетационного периода в условиях Новосибирска.

Более ранние данные И.А. Гольцберга [7] свидетельствуют о том, что переход среднесуточной температуры через $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ на метеостанции Томск в 1949 г. наблюдался 5 мая, а через $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 21 мая, т. е. произошел ощутимый сдвиг в сторону увеличения вегетационного периода. В то же время автор отмечал среднюю дату прекращения заморозка в воздухе — 25 мая, в настоящее время эта дата — 21 мая.

Даты поздних весенне-летних и ранних летне-осенних заморозков в воздухе за последние 15 лет, по данным разных метеостанций, значительно варьируют: летне-весенние заморозки могут продолжаться с 30 мая до 11 июня, летне-осенние — с 19 августа до 27 сентября. Обращают на себя внимание высокие значения вероятности возникновения заморозков в первой и второй декадах мая даже для западных станций Ялуторовск и Большеречье. Для восточных станций этот показатель еще выше, например для метеостанции Мариинск он превышает 90 % при среднемноголетнем числе дней с заморозками в этот период 3,5 (рис. 1).

Самыми опасными в конце мая являются заморозки, при которых температура опускается до $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. Такие температуры в период вегетации способны принести большой урон растениеводству: повреждаются цветки и завязи плодовых культур. Для большинства станций исследуемого района можно говорить об уменьшении случаев с такими сильными заморозками за последние десятилетия.

На рис. 2 на примере метеостанции Томск показана динамика проявления подобных заморозков за два периода (1973–1995 и 1996–2021 гг.). В первой декаде мая, когда начинается сев яровых сортов зерновых культур и происходит активная вегетация у плодово-ягодных культур, вероятность проявления заморозков ниже $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 70 % для первого и 47 % для второго периода. Во второй декаде мая, в период сева зернобобовых культур, овса и ячменя, вероятность уменьшается до 43 и 12 % соответственно. В третьей декаде мая, когда большинство хозяйств высаживает овощи в открытый грунт и появляются всходы зерновых и зернобобовых культур, вероятность заморозков ниже $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ снижается и становится менее 10 % для первого и менее 0,4 % для второго периода. Тем не менее если заморозок случился, то хозяйствам может быть нанесен ущерб. Так, например, по [18], урожайность гороха от воздействия заморозков при температуре $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже может уменьшиться почти в два раза. Ранние весенние заморозки преимущественно относятся к адвективному типу, в отличие от поздних весенних и июньских заморозков.

Наибольшее негативное воздействие на урожайность оказывают поздние весенние заморозки, когда растения при теплой погоде уже проходят длительный период вегетации. По многолетним наблюдениям, даты последних весенне-летних заморозков воздуха могут приходиться на заключительную декаду мая для всех южнотаежных районов. Вероятность их возникновения в последней декаде мая варьирует от 18 до 58 %, в среднем по региону составляя 32 %. Заморозки в этот период, когда температура воздуха опускается ниже $-1,5$ и $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, наносят большой урон овощным культурам, высаженным в открытый грунт, могут привести к их гибели, повреждают всходы яровых зерновых культур, кукурузы и картофеля.

Самые поздние заморозки на многих метеостанциях отмечаются в первой декаде июня. Климатическая вероятность их появления в среднем для всей территории составляет 5 %, а для восточных и северных станций достигает 18 %. Иногда поздние заморозки случаются даже во второй декаде июня. Так, на метеостанции Таурово Тюменской области в 2019 г. последний заморозок зарегистрирован 15 июня, на станции Бакчар Томской области — 12 июня 2021 г., на станции Большие Уки Омской области — 10 июня 2021 г. Анализ более длительного ряда метеоданных по Новосибирской области свидетельствует, что самая поздняя дата заморозков отмечена в подтаежной зоне 26 июня 1955 г. [15]. В июньские заморозки, как правило, температура понижается не столь значительно, как в мае, и варьирует от 0 до $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, но даже такое понижение температуры в период активной вегетации в совокупности с продолжительными осадками или засушливой погодой может привести к экологическому стрессу и гибели некоторых сельхозкультур.

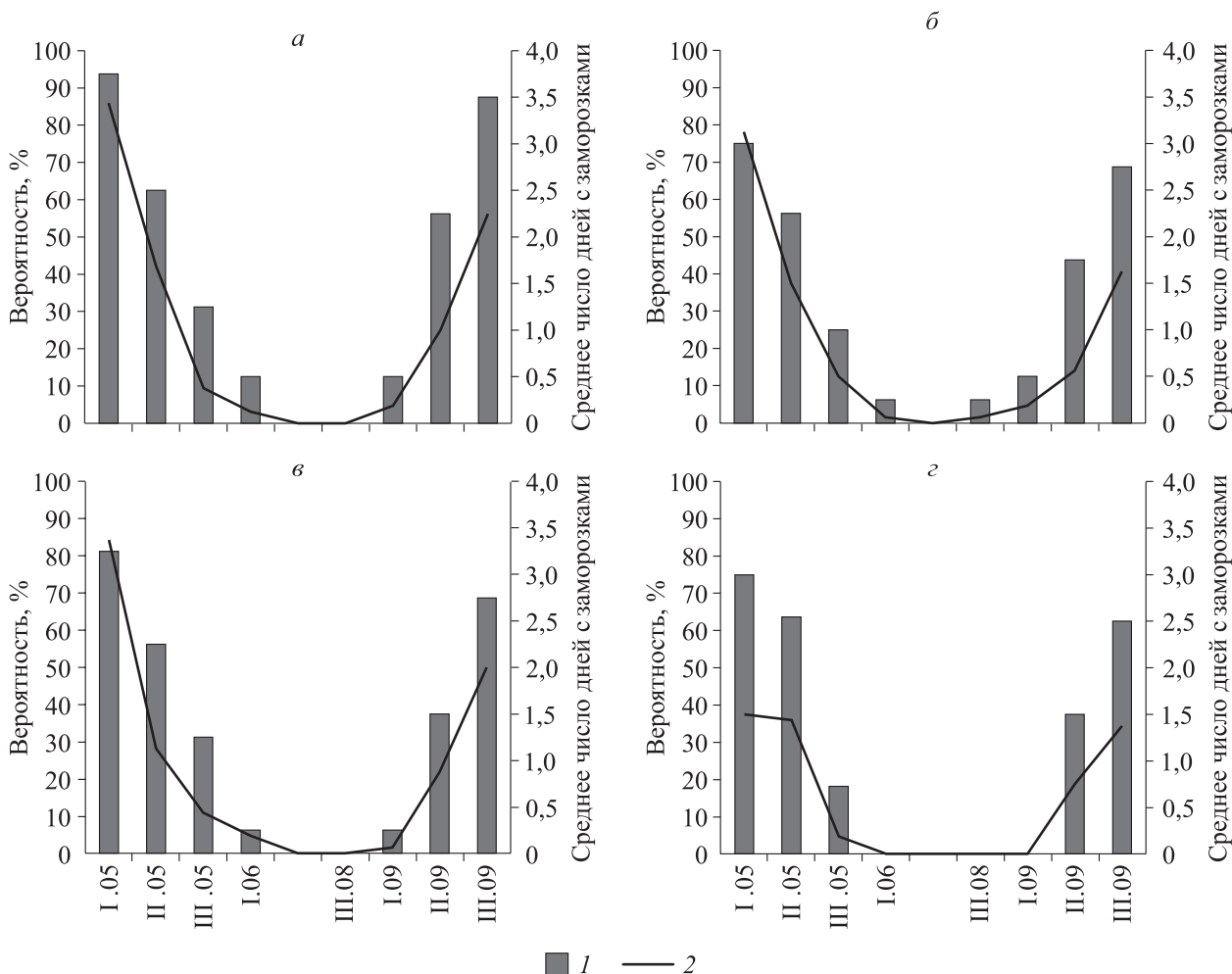


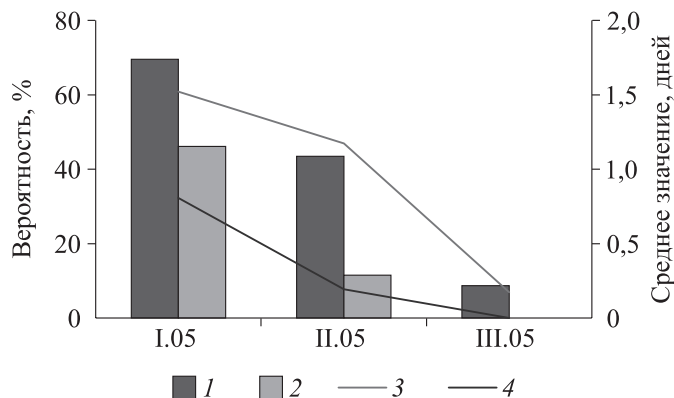
Рис. 1. Среднемноголетнее распределение случаев заморозков воздуха по декадам (I–III) весенних, летних и осенних месяцев (05–09) с 2005 по 2020 г. по данным метеостанций Мариинск (а), Томск (б), Большеречье (в), Ялуторовск (г).

1 — вероятность возникновения заморозков за декаду; 2 — среднее число дней с заморозками за декаду.

Ранние летне-осенние заморозки для большинства культур не столь опасны, как ранние весенние, но тем не менее они способны нанести урон овощным культурам, высаженным в открытом грунте. Эти заморозки могут случиться уже в конце августа при средней дате их появления 18 сентября. За весь исследуемый период самая ранняя дата осеннего заморозка зарегистрирована 19 августа 2006 г. на станции Бакчар Томской области ($-4,2^{\circ}\text{C}$). Для большинства метеостанций, расположенных в западных и более южных частях региона, в это время заморозки являются исклю-

Рис. 2. Вероятность возникновения заморозков с температурой воздуха -3°C и ниже по декадам (I–III) весенних месяцев с 1973 по 2021 г. по данным метеостанции Томск.

1 — 1973–1995 гг.; 2 — 1996–2021 гг.; 3 — среднее число заморозков за декаду в 1973–1995 гг.; 4 — среднее число заморозков за декаду в 1996–2021 гг.



чением. Вероятность их возникновения составляет лишь 5 % случаев, и они менее интенсивны. Например, для станции Ялуторовск Тюменской области заморозков в первую декаду сентября за исследуемый период зарегистрировано не было. Однако для восточной станции Мариинск вероятность заморозков составляет 10 % при среднемноголетнем значении числа заморозков в этот период 0,5 случая (см. рис. 1).

Для большинства северных территорий южной тайги Западно-Сибирской низменности наступление ранних летне-осенних заморозков с вероятностью около 10 % начинается с последней декады августа, а ко второй декаде сентября достигает максимума с вероятностью 80 %. Отмечается, что количество осенних заморозков несколько ниже, чем весенних.

Другим важным показателем, определяющим климатические условия для произрастания растений в вегетационный период, является продолжительность беззаморозкового периода, который определяется числом дней от даты последнего заморозка в воздухе весной до первого заморозка осенью. По значениям среднемноголетней продолжительности беззаморозкового периода наблюдается выраженная территориальная зональность (рис. 3): наибольшая продолжительность характерна для юга Тюменской и Омской областей (130–140 дней), минимальная отмечается на севере Томской и Кемеровской областей (102–107 дней).

Показатель максимально возможной продолжительности беззаморозкового периода колеблется от 132 до 153 дней в году, имеет неравномерное распределение по территории и во многом зависит от особенностей форм рельефа. Наибольшие значения (153 дня) зарегистрированы на станциях Ярково (Тюменская область) и Томск (рис. 4).

Самый короткий беззаморозковый период для разных территорий изменяется от 82 дней (станция Колпашево Томской области, 2006 г.) до 114 (станции Викулово и Ишим Тюменской области, 2010 г.) и имеет сходную территориальную закономерность со среднемноголетней продолжительностью беззаморозкового периода. Если брать во внимание отдельные значения разных лет, то на некоторых северных станциях продолжительность беззаморозкового периода может быть даже больше, чем для более южных станций, что связано в первую очередь с особенностями подстилающей поверхности.

Рассматривая такой показатель, как среднегодовое количество дней с заморозками воздуха за последний 16-летний период, можно отметить, что он существенно изменяется по станциям: от 5,5 (Ялуторовск Тюменской области) до 13,4 (Колпашево Томской области), т. е. диапазон разброса составляет 7,9 дня.

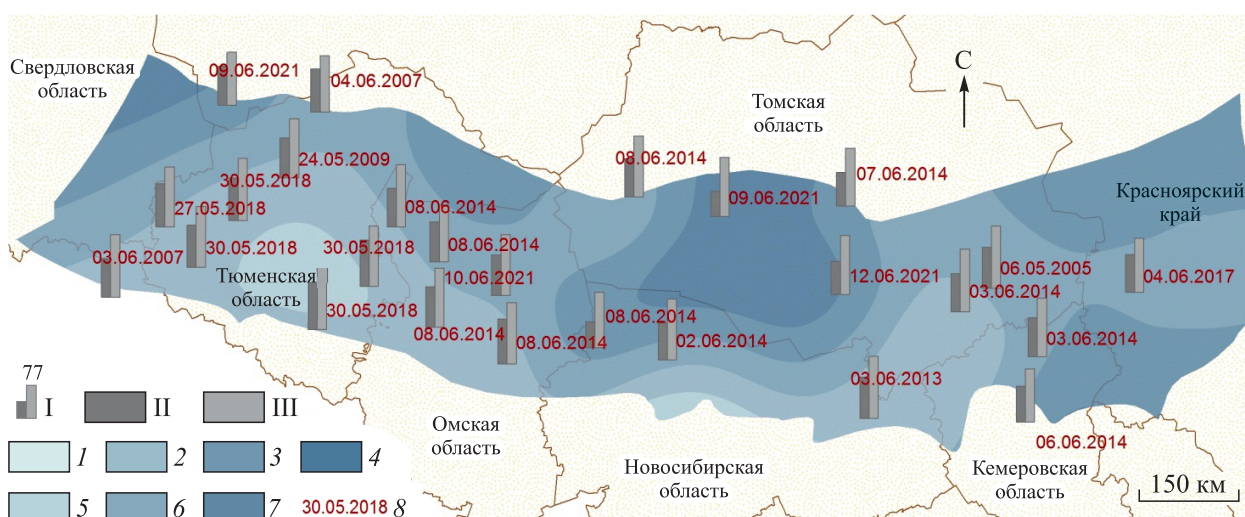


Рис. 3. Пространственное распределение беззаморозкового периода на территории южной тайги Западной Сибири за 2005–2021 гг.

I — масштаб диаграммы (77 — количество дней). Продолжительность беззаморозкового периода в днях: II — минимальная, III — максимальная. Продолжительность среднемноголетнего беззаморозкового периода, дней: 1 — 136–141, 2 — 130–135, 3 — 124–129, 4 — 118–123, 5 — 112–117, 6 — 106–111, 7 — 100–105. 8 — наиболее поздняя возможная дата заморозка воздуха в весенне-летний период.

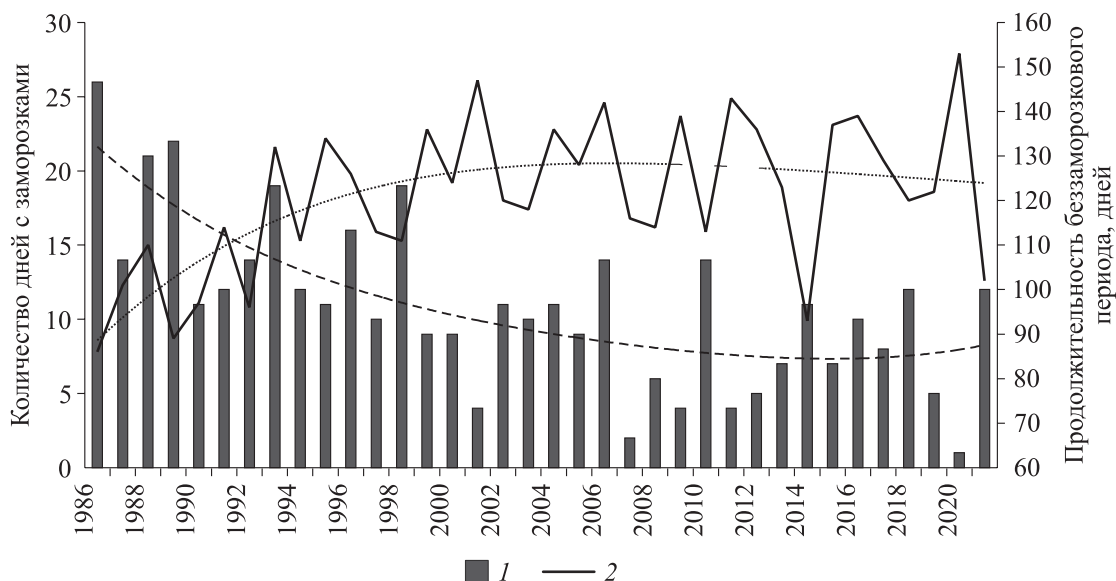


Рис. 4. Динамика случаев заморозков и продолжительность безморозкового периода по данным метеостанции Томск.

1 — количество дней с заморозками; 2 — безморозковый период.

Среднее количество дней с заморозками для метеостанции Томск за последний 35-летний период сократилось более чем в 1,5 раза. При этом безморозковый период имеет некоторую тенденцию к увеличению, связанную в первую очередь с более поздним наступлением осенних заморозков. В связи с этим существует высокая вероятность проявления летне-весенних заморозков периода в последующие годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты, полученные в ходе исследования, показывают, что риски для растениеводства не уменьшаются: сохраняется высокая вероятность заморозков в результате возврата холодов и резких колебаний температур надпочвенного слоя. Пространственно-временное проявление заморозков в южной тайге Западной Сибири носит неоднородный характер.

В целом для юго-запада среднегодовое количество дней с заморозками в весенне-летний период составляет 7,5 и возрастает до 12 на северо-востоке исследуемой территории. Проявление заморозков существенно варьирует по годам, наиболее значительные и продолжительные заморозки зафиксированы в 2006, 2014, 2018 и 2021 гг. Так, в 2020 г. число дней с заморозками для большинства исследуемых станций не превышало шести, а в 2014 г., напротив, этот показатель был не менее 12, на отдельных станциях превысил 20.

Значение показателя, характеризующего среднюю продолжительность безморозкового периода, изменяется от 140 на юго-западе до 102 дней на северо-востоке. Территориальная дифференциация по показателю минимального безморозкового периода указывает на то, что наименьшие значения характерны для более северных южнотаежных территорий Томской (Колпашево, 2006 г. — 80 дней), Тюменской (Тобольск, 2014 г. — 97), Новосибирской (Северное, 2008 г. — 90 дней) областей.

Наибольшие риски для местной системы растениеводства связаны с поздними весенними заморозками. Определение вероятности возникновения заморозков по декадам весенних и летних месяцев показало, что в третьей декаде мая на всей территории исследования она составляет от 18 до 32 %, а в северо-западной части заморозки возможны даже в первой декаде июня, и вероятность их возникновения превышает 10 %.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (FWRG–2021–0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 (ред. от 19.02.2019) «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» [Электронный ресурс]. — <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-18082014-n-367/> (дата обращения 02.11.2021).
2. Волкова Е.С., Невидимова О.Г., Мельник М.А. Комплексный риск-анализ природопользования на территории Томской области // География и природ. ресурсы. — 2011. — № 2. — С. 39–46.
3. Коршунов А.А., Хандожко Л.А., Шаймарданов М.З. Проблемы экономической полезности использования гидрометеорологической информационной продукции. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — Вып. 169, № 2. — 132 с.
4. РД 52.27.724–2019. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. — М.: Гидрометцентр России, 2019. — 66 с.
5. Gu L., Hanson P.J., MacPost W., Kaiser D.P., Yang B., Nemani R., Pallardy G.S., Meyers T. The 2007 Eastern US Spring Freeze: Increased Cold Damage in a Warming World // BioScience. — 2008. — Vol. 58 (3). — P. 253–262.
6. Javier R. Spring frosts in deciduous fruit trees. Morphological damage and flower hardiness // Scientia Horticulturae. — 2000. — Vol. 92. — P. 155–173.
7. Гольцберг И.А. Климатическая характеристика заморозков и методы борьбы с ними в СССР // Труды ГГО. — 1949. — Вып. 17 (79). — 112 с.
8. Гольцберг И.А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 197 с.
9. Васильева Л.Г., Голубова Т.А. Повторяемость типов погоды при заморозках // Труды ГГО. — 1972. — Вып. 288. — С. 155–168.
10. Дмитриева Г.В. Последние весенние и первые осенние заморозки в Московской области // Труды ЦИП. — 1954. — Вып. 31 (58). — С. 107–121.
11. Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г. Климатические характеристики заморозков на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. — 2020. — Вып. 186. — С. 5–20.
12. Мирвис В.М., Гусева И.П. Оценки изменения продолжительности безморозного периода вегетации на территории России и сопредельных государств в XX веке // Метеорология и гидрология. — 2006. — № 1. — С. 106–113.
13. Кижнер Л.И. Экономические аспекты обеспечения метеорологической информацией о заморозках в Томской области // Вестн. Том. ун-та. — 2014. — № 381. — С. 232–237.
14. Кижнер Л.И., Кизеева А.А. Значение прогностической информации для уменьшения средних потерь от заморозков в Томской области // Вестн. Том. ун-та. — 2012. — № 360. — С. 176–181.
15. Воронина Л.В., Зарубина А.В. Исследование заморозков как экологически опасных явлений // Вестн. Сиб. гос. ун-та геосистем и технологий. — 2010. — № 2 [Электронный ресурс]. — <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-zamorozkov-kak-ekologicheskii-opasnyh-yavleniy-1> (дата обращения 20.04.2021).
16. Журина Л.Л., Лосев А.П. Агрометеорология. — СПб.: ООО «Квадро», 2012. — 368 с.
17. Фомин Э.С., Фомина Т.И. Изменение фенологии многолетних растений в Западной Сибири на фоне глобального потепления климата // Сиб. экол. журн. — 2021. — № 5. — С. 543–556.
18. Черкашин В.Н., Черкашина Г.В. Природные явления, вызывающие повреждения полевых культур // Сельскохозяйств. журн. — 2021. — № 3 (14). — С. 34–40.

Поступила в редакцию 21.03.2022

После доработки 18.04.2022

Принята к печати 01.11.2022