

ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ПОЧВЫ

© 2025 Р.Б. Шарипова, В.М. Петров

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, г. Ульяновск, Россия

Статья поступила в редакцию 05.03.2025

В Ульяновской области в последние три десятилетия наблюдаются значительные изменения климатических условий. Среднегодовая температура воздуха увеличилась на 2,7 °С, а количество осадков — на 154,9 мм. Эти изменения оказывают существенное влияние на глубину промерзания почвы. В результате исследований было установлено, что повышение температуры воздуха приводит к уменьшению средней высоты снежного покрова в зимний период и сокращению продолжительности его залегания. Промерзание почвы начинается в среднем 19 ноября, а в феврале достигает максимальной глубины — 36 см. В феврале скорость уменьшения толщины промерзшей почвы составляет 2,8 см за 30 лет. Средняя дата оттаивания — 7 апреля, а продолжительность промерзания почвы — 140 дней. Минимальная продолжительность промерзания в 59 дней наблюдалась в 2010–2011 гг., а максимальная — 161 день — в 1997–1998 гг. Исследование тенденций показало, что за последние 30 лет начало замерзания почвы сдвинулось на пять дней раньше, а полное оттаивание происходит на три дня раньше. Наиболее тесная корреляция наблюдается между высотой снежного покрова и глубиной промерзания почвы — 0,8405. Для разработки эффективных стратегий адаптации к изменениям климата в сельском хозяйстве необходимо продолжать изучать, как меняются погодные условия и как они влияют на аграрное производство.

Ключевые слова: глубина промерзания почвы, климат, температура воздуха, атмосферные осадки.

DOI: 10.37313/2782-6562-2025-4-1-47-53

EDN: KEKOXY

ВВЕДЕНИЕ

Согласно результатам многочисленных исследований, проведенных в Ульяновской области в конце XX – начале XXI века, в условиях глобального потепления климата в зимние месяцы наблюдается значительное повышение температуры воздуха и увеличение количества атмосферных осадков. Эти факторы оказывают значительное влияние на глубину промерзания почвы, которая является ключевым показателем жизнедеятельности сельскохозяйственных культур. От глубины промерзания почвы зависит не только развитие и сохранность урожая, но и общее состояние растений. Глубина промерзания почвы имеет важное практическое значение для сельского хозяйства, оказывая существенное влияние на перезимовку озимых посевов. Именно поэтому изучение агрометеорологических условий зимовки и отклика сельскохозяйственных культур на наблюдаемые изменения климата является актуальной и практически важной задачей. Процесс замерзания почвы зависит от множества факторов: температура воздуха, количество выпавших осадков, влажность подмерзающего слоя почвы и характеристики снежного покрова. Важность изучения глубины промерзания почвы тем более актуальна в современных условиях изменения климата для планирования размещения и выращивания сельскохозяйственных культур и принятия мер по защите их от промерзания [1, 2, 3].

Целью настоящей работы явился анализ многолетней тенденции изменения параметров температуры воздуха, атмосферных осадков, а также высоты снежного покрова и их воздействия на промерзание почвы в условиях современного изменения климата на примере Ульяновской области.

Задачи исследований:

- дать всестороннюю характеристику условий промерзания почвы, при этом выявить основные закономерности его формирования и связи с природными факторами;
- установить закономерности временной изменчивости условий промерзания почвы в зависимости от температуры воздуха и высоты снежного покрова.

Шарипова Разиде Бариевна, старший научный сотрудник отдела земледелия и технологии возделывания сельскохозяйственных культур, кандидат географических наук. E-mail: resedasharipova63@mail.ru

Петров Максим Вячеславович, научный сотрудник отдела земледелия и технологии возделывания сельскохозяйственных культур. E-mail: maxim120198@yandex.ru

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исходных данных были использованы результаты ежедневных наблюдений за погодными условиями, проводившихся на агрометеорологическом посту Тимирязевский Ульяновского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в период с 1993 по 2023 год. Методика проведения измерений была официально утверждена Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам 5 ноября 2013 года (method.meteorf.ru/cmkr/nov13.html). Измерение глубины промерзания почвы проводилось с помощью мерзлотомера Данилина АМ-21, принцип действия которого основан на свойстве воды замерзать при температуре 0°C, установленного в конце осени, до понижения температуры воздуха через 0°C в сторону понижения и выпадения снега. Измерения проводились ежедневно, также параллельно выполнялись замеры снежного покрова с помощью специальных снегомерных реек. В ходе весеннего таяния снега одновременно фиксировались параметры глубины промерзания и оттаивания верхних слоев почвы. Все собранные данные анализировались с использованием программы XLSTAT. Исследования, основанные на научных методах, были осуществлены с применением Методики проведения наблюдений и исследований в полевых опытах (2003), Энциклопедии климатических ресурсов Российской Федерации (2023), Практикума по агрометеорологии (1984). При анализе многолетних изменений агрометеорологических характеристик применялось разложение с использованием ряда Фурье, с целью выявления наилучшей синусоидальной аппроксимации для уровней максимума и минимума [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Существенные изменения климатических показателей, наблюдающиеся в конце 19 и начале 20 вв., а также возросшая зависимость сельского хозяйства и других отраслей экономики от данных изменений обуславливают более тщательный мониторинг за всевозможными составляющими климатической системы. Под эгидой Всемирной метеорологической организации (ВМО) для объективной оценки изменений климата и их последствий на природную среду определены основные задачи мониторинга, сформулированные Всемирной программой исследования климата (ВПИК), являющейся решающим элементом Всемирной климатической программы (ВКП) [1, 2, 3].

Глубина промерзания почвы и температура на глубине узла кушечия как важные факторы функционирования сельскохозяйственных культур в зимнее время, также стали претерпевать кардинальные изменения. Информация о количестве, динамике во времени, а также закономерностях формирования остается актуальной в связи с зависимостью развития и сохранности урожая и оценки состояния растений.

Преодоление последствий изменения климата требует комплексного подхода, включающего научные исследования, для разработки стратегий, направленных на адаптацию к новым климатическим условиям [5]. По данным рисунка 1 в Ульяновской области происходит интенсивное изменение климатических показателей: коэффициент линейного тренда (КНЛТ)+0,0875 показывает повышение температуры за 1993–2023 гг. на 2,7°C, годовая сумма осадков увеличилась на 154,9 мм (КНЛТ=4,9977).

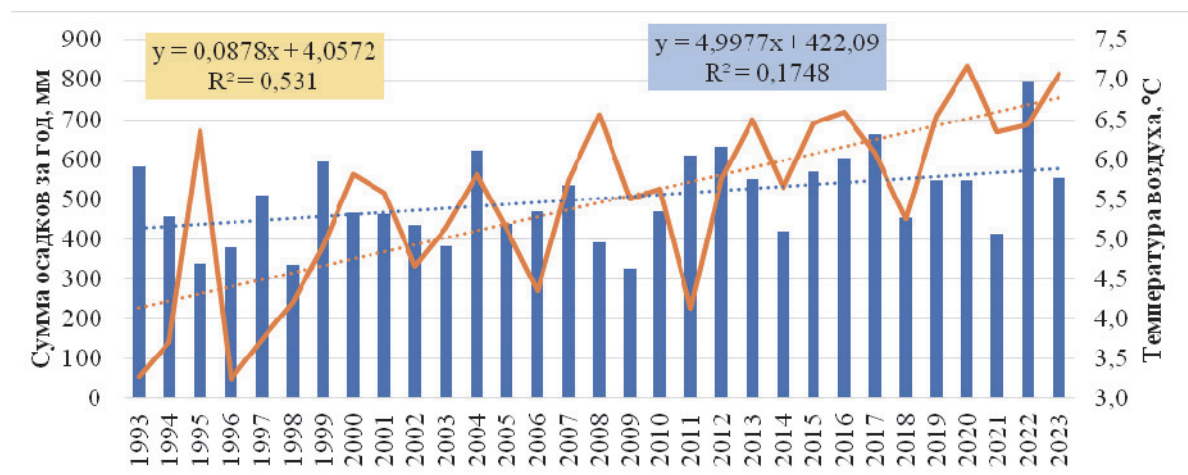


Рис. 1. Динамика средней годовой температуры воздуха и сумма атмосферных осадков за год 1993 по 2023 гг.

ОБСУЖДЕНИЯ

По данным таблицы 1 переход температуры воздуха через 0 °С в сторону понижения осенью (таблица 1) в регионе наступает 11 ноября и способствует промерзанию почвы, которое зависит от типа почвы, её влажности, обработки, толщины снежного покрова и наличия растительности, которая помогает защитить почву от сильного вымерзания. Однако, несмотря на все эти условия, изменения температуры в приземном слое атмосферы в холодное время года являются главной причиной глубины промерзания. Весной с переходом температуры воздуха через 0° С в сторону повышения 28 марта начинается интенсивное уменьшение снега и оттаивание почвы. Морозный период в среднем длится 138 дней. Средняя дата образования устойчивого снежного покрова приходится на 23 ноября, дата схода снежного покрова на 3 апреля.

Таблица 1. Климатические характеристики перехода температуры через 0 °С, установления и схода снежного покрова, промерзания почвы за 1993-2023 гг.

Климатические характеристики	Осень	Весна	Продолжительность	КНЛТ	
				Осень	Весна
Переход температуры через 0 °С	11.11	28.03	138	-0,0464 1 день	-0,1435 4 дня
Установление и сход снежного покрова	23.11	03.04	132	-0,3682 12 дней	-0,3815 9дней
Промерзание почвы	19.11	07.04	140	-0,1722 (5 дней)	-0,8930 (3 дня)

Снежный покров является неотъемлемой частью климатической системы [6, 7, 8]. Он существенно влияет на радиационный и тепловой баланс земной поверхности, защищая почву от переохлаждения и обеспечивая выживание растений в зимний период, накапливает зимние осадки и весной становится одним из главных источников влаги для почвы. Толщина снежного покрова – это важный параметр, который определяет глубину и степень промерзания земли. Анализ динамики снежного покрова в регионе выявил, что климатические изменения также оказывают влияние на продолжительность залегания снега. В таблице 1 представлены данные, которые наглядно показывают продолжительность залегания снежного покрова в течение 132 дней и сокращение за период исследования на 3 дня, и смещение сроков промерзания и оттаивания осенью на 12 и весной на 9 дней на более ранние сроки. Наименьшая продолжительность наблюдалась в зимний сезон 1919-1920 годов, когда снег лежал лишь 100 дней, в то время как в 1993-1994 годах он сохранялся на протяжении 155 дней. Столь существенные изменения связаны с региональным потеплением и подчеркивает высокую вариативность климатических условий.

Таблица 2. Основные метеорологические характеристики и их изменение по декадам в холодный период за 1993-2023 гг.

Месяц, декада	Метеорологические параметры							
	Температура воздуха, °С		Количество атмосферных осадков, мм		Высота снежного покрова, см		Глубина промерзания почвы, см	
	Норма	Изменение, °С	Норма	Изменение, мм	Норма	Изменение, см	Норма	Изменение, см
Ноябрь 1 декада	1,1	5,1	15,0	0,55	-	-	8	-
2 декада	-1,8	4,3	11,5	1,1	-	-	11	-0,7
3 декада	-4,7	4,5	13,9	2,2	7	1,7	14	-2,0
Декабрь 1 декада	-6,5	1,2	12,2	9,2	7	-2,7	17	-1,6
2 декада	-8,2	1,3	11,4	2,9	12	-1,8	22	-1,5
3 декада	-8,5	5,8	16,0	17,5	17	1,8	25	-2,2

Январь 1 декада	-9,9	1,6	12,5	18,6	13	11,9	28	-2,3
2 декада	-9,2	0,79	11,8	12,1	17	11,4	31	-2,5
3 декада	-11,0	-2,69	11,5	6,6	32	13,4	33	-2,7
Февраль 1 декада	-10,9	4,9	11,2	15,9	28	19,6	35	-3,0
2 декада	-10,1	3,7	7,9	5,6	32	18,8	36	-3,5
3 декада	-7,9	1,67	6,9	7,3	34	18,6	35	-3,3
Март 1 декада	-5,6	3,2	9,6	1,8	37	11,8	33	-3,4
2 декада	-3,5	3,1	8,5	8,8	34	7,6	28	-4,1
3 декада	-0,7	4,4	9,7	7,7	17	3,3	22	-4,8
Апрель 1 декада	-	-	-	-	-	-	-	-4,9
Среднее	-6,49	2,86	11,31	7,86	22,08	8,88	25,20	-2,77
Коэффициент корреляции			Температура		-0,1400	-	0,7475	-
			Осадки		0,6779	-	-0,5924	-
			Высота снежного покрова				0,8405	
макс	1,1	5,8	16,0	18,6	37	19,6	36	-0,7
мин	-11,0	-2,69	3,9	0,55	7	-2,7	8	-4,8

Согласно данным, представленным в таблице 2, в течение всего холодного периода наблюдается повышение температуры воздуха, за исключением третьей декады января, когда температура снижается на 2,69 °С. Наиболее значительный рост температуры зафиксирован в третьей декаде декабря (5,8 °С) и в начале ноября (5,1 °С). Что касается осадков, то их количество увеличивается на протяжении всего холодного периода. Максимальное увеличение количество осадков наблюдается в третьей декаде декабря и первой декаде февраля. В результате обильных снегопадов в эти периоды высота снежного покрова увеличивается на 11-19 см. Существенные повышения температурного режима, количества осадков и высоты снежного покрова приводят к уменьшению глубины промерзания почвы. Наибольшее уменьшение наблюдается в первой и второй декаде марта, а наименьшее – в декабре (-0,7).

Наиболее тесная корреляция наблюдается между высотой снежного покрова и глубиной промерзания почвы (0,8405). Также можно выделить следующие взаимосвязи: между осадками и высотой снежного покрова (0,6779), осадками и высотой снежного покрова (0,6779), повышение температуры воздуха приводит к снижению высоты снега (-0,1400) и, как следствие, к более глубокому промерзанию почвы (0,7475), атмосферными осадками и глубиной промерзания почвы (-0,5924).

Снежный покров в регионе сохраняется в течение 132 дней – с 23 ноября по 3 апреля. За этот период в среднем выпадает 145 мм осадков. Исследования показывают, что глубина промерзания почвы является важнейшим фактором, влияющим на процессы, связанные с перезимовкой растений и стоком талых вод. Она оказывает непосредственное воздействие на степень увлажнения грунта после того, как снег растает. Если промерзание почвы достигает значительной глубины, это может затруднить процесс инфильтрации талой воды в более глубокие слои. Этот аспект имеет огромное значение для сельского хозяйства и экосистемы в целом, поэтому изучение его влияния является одним из приоритетных направлений научных исследований.

В 1945 году Г. Д. Рихтер провёл исследование, направленное на изучение изменений температуры в снежном покрове. В ходе исследования было установлено, что на глубине 25 сантиметров температура меняется, в то время как на более глубоких слоях (34-44 сантиметра) изменения составляют всего 0,16 градусов Цельсия. Это позволяет сделать вывод, что снежный покров толщиной 50 сантиметров способен защитить почву от воздействия низких температур, которые могут нанести вред зимующим культурам. Таким образом, контроль за температурным режимом и его динамикой становится важной задачей для прогнозирования последствий перезимовки озимых посевов. Наиболее тесная корреляция наблюдается между высотой снежного покрова и глубиной промерзания почвы (0,8405) [9, 10, 11].

По данным рисунка 2 начало промерзания почвы осенью в среднем наблюдается 19.11, однако под действием ночных отрицательных температур, при отсутствии снежного покрова, в 1999 и 2007 году осенью уже в первой декаде ноября почва промерзала до 15-11 см соответственно. Далее из месяца в месяц нарастает и достигает своего максимума (36 см) во второй декаде февраля. В третьей

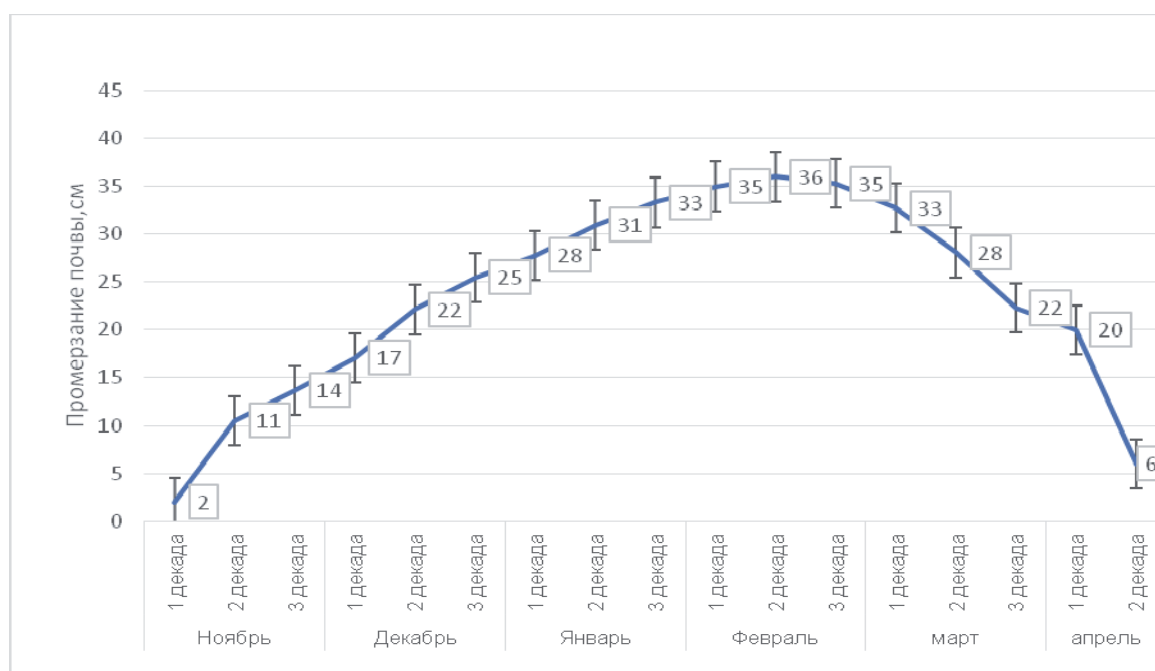


Рис. 2 Годовой ход промерзания почвы с 1993–2023 гг.

декаде февраля наблюдается максимальная глубина промерзания почвы. В 1997 году с третьей декады февраля по первую декаду марта почва промерзала до 74 см. Далее идет уменьшение глубины промерзания и 7 апреля зафиксирована средняя дата оттаивания почвы. В весеннее время оттаивание почвы происходит как снизу, так и сверху мёрзлого слоя. В случае возвращения холодов верхний слой, который уже успел оттаять, может вновь замёрзнуть, и тогда на некоторой глубине образуется прослойка незамёрзшей почвы. Под действием ночных отрицательных температур в 1996 и 1998 гг. почва оставалась промерзшей до 15–18 см до конца второй декады апреля, тем самым сдерживала начало весенне-полевых работ (рисунок 2).

В рассматриваемый период самые ранние сроки начала процесса промерзания почвы были зафиксированы 4 ноября 2009–2010 года, а самые поздние – 15 февраля 2010–2011 года. Что касается завершения процесса промерзания, то наиболее ранняя дата относится к 17 марта 2019–2020 года, а наиболее поздняя – к 25 апреля 1997–1998 года. Таким образом в среднем почва находится в состоянии промерзания в течение 140 дней. В 2010–2011 году почва промерзла 15 февраля и оттаяла 4 апреля, что составило минимальную продолжительность промерзания – 59 дней. Максимальная продолжительность наблюдалась в 1997–1998 годах – 161 день, с 16 ноября по 25 апреля. Исследование тенденций показало, что за последние тридцать лет начало замерзания почвы осенью сместилось на пять дней, а полное оттаивание происходит на три дня раньше обычных сроков. На основе рассчитанного коэффициента наклона линейной тенденции (КНЛТ) 0,8593 за рассматриваемый период продолжительность промерзания почвы сократилась на два дня (таблица 1). Данная тенденция прослеживается во все месяцы, при этом наименьшее значение убывания наблюдается во второй декаде ноября ($R^2 = 0,2479$), а наибольшее – в первой декаде апреля ($R^2 = 1,6389$) (таблица 2).

В условиях меняющегося климата особое внимание следует уделить тому, как промерзает почва. Этот процесс напрямую влияет на экосистемы и сельское хозяйство. Уже сейчас мы можем наблюдать, что средняя глубина промерзания почвы уменьшается на три сантиметра, а период промерзания сокращается на два дня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние три десятилетия в Ульяновской области наблюдается тенденция к повышению температуры воздуха на 2,7 °C и увеличению количества осадков на 154,9 мм. Эти изменения существенно влияют на глубину промерзания почвы. Исследования показали, что в течение всего холодного периода количество осадков возрастает, однако оттепели приводят к уменьшению высоты снежного покрова в первой и второй декаде декабря на 2,7 и 1,8 см соответственно. Это связано с повышением температуры воздуха в зимние месяцы и переходные сезоны. Промерзание почвы осенью в среднем начинается 19 ноября. В феврале глубина промерзания достигает максимума (36 см). В конце февраля скорость уменьшения толщины мерзлой почвы достигает 2,8 см в год. Средняя

дата оттаивания зафиксирована 7 апреля. Средняя продолжительность промерзания почвы – 140 дней. Минимальная продолжительность промерзания – 59 дней – наблюдалась в 2010-2011 году, максимальная – 161 день – в 1997-1998 году. Исследование тенденций показало, что за последние 30 лет начало замерзания почвы сместилось на пять дней на более ранние сроки, а полное оттаивание происходит на три дня раньше, что подтверждается высоким уровнем достоверности. Продолжительность промерзания почвы сократилась. Изменение характеристик снежного покрова и промерзания почвы в Ульяновской области требует адаптации к новым условиям, оптимизации сельскохозяйственных практик и разработки мероприятий по смягчению последствий изменения климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хлебникова, Е.И. Изменение показателей экстремальности термического режима в XXI в.: ансамблевые оценки для территории России / Е.И. Хлебникова, Ю.Л. Рудакова, И.А. Салль, С.В. Ефимов, И.М. Школьник // Метеорология и гидрология. – 2019. – № 3. – С. 11-23.
2. Володин, Е.М. Вероятные изменения климата в XXI веке на территории России по данным модели климата INM-CM5-0 / Е.М. Володин // Метеорология и гидрология. – 2022. – № 5. – С. 5-13.
3. Шарипова, Р.Б. Оценка влияния основных агроклиматических показателей на урожайность зерновых культур в XXI веке (по данным Ульяновской области) / Р.Б. Шарипова, О.Г. Зотов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2024. – Т. 17. – № 2(81). – С. 23-33. – DOI: 10.53914/issn2071-2243.2024.2.23
4. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман – М., 2003. – 479 с.
5. Чуян, О.Г. Оценка роли климатических, почвенных и агротехнических факторов в формировании ресурсов продуктивности агроландшафтов Центрального Черноземья / О.Г. Чуян, Г.П. Глазунов, Л.Н. Караулова, О.А. Митрохина, Н.В. Афонченко, А.Н. Золотухин, В.В. Двойных // Метеорология и гидрология. – 2022. – № 6. – С. 79-87.
6. Данилова, И.В. Пространственное распределение снегозапасов и динамика схода снежного покрова в центральной части Приенисейской Сибири / И.В. Данилова, А.А. Онучин // Метеорология и гидрология. – 2021. – № 1. – С. 82-92.
7. Мохов, И.И. Взаимосвязь площади снежного покрова в Северном полушарии по спутниковым данным с приповерхностной температурой / И.И. Мохов, М.Р. Парфенова // Метеорология и гидрология. – 2022. – № 2. – С. 32-44.
8. Cheremisinov A.Yu., Barinov V. N., Trukhina N. I. Relationships of nature, society, production and economics // Models and technologies of environmental management (regional aspect 2019. № 1 (8). Pp. 8-15.
9. Кулик, А.В. Динамика промерзания и оттаивания почвы в агролесоландшафте / А.В. Кулик, О.А. Гордиенко, М.Р. Шайфуллин // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2022. – № 112. – С. 160-180. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-112-160-180>.
10. Iwata Y., Hirota T., Suzuki T., Kuwao K. Comparison of soil frost and thaw depths measured using frost tubes and other methods // Cold Regions Science and Technology. 2012. № 71. Pp. 111-117.
11. Калюжный, И.Л. Изменчивость глубины промерзания почвы в бассейне р. Волга и ее влияние на процессы формирования зимнего и весеннего стока при изменениях климата / И.Л. Калюжный, С.А. Лавров // Метеорология и гидрология. – 2016. – № 7. – С. 58-71.

ASSESSMENT OF LONG-TERM VARIABILITY OF SOIL FREEZING DEPTH

© 2025 R.B. Sharipova, M.V. Petrov

Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Ulyanovsk Research Institute of Agriculture, Ulyanovsk, Russia

In the Ulyanovsk region, significant changes in climatic conditions have been observed over the past three decades. The average annual air temperature increased by 2.7 °C, and the amount of precipitation increased by 154.9 mm. These changes have a significant impact on the depth of soil freezing/ As a result of research, it was found that an increase in air temperature leads to a decrease in the average height of snow cover in winter and a reduction in the duration of its occurrence. Soil freezing begins on average on November 19, and in February reaches a maximum depth of 36 cm. In February, the rate of decrease in the thickness of frozen soil is 2.8 cm per 30 years. The average thawing date is April 7, and the duration of soil freezing is 140 days. The minimum freezing duration of 59 days was observed in 2010–2011, and the maximum – 161 days – in 1997–1998. A study of trends showed that over the past 30 years, the onset of soil freezing has moved five days earlier, and complete thawing is occurring three days earlier. The closest correlation is observed between the height of snow cover and the depth of soil freezing - 0.8405. To develop effective strategies for adaptation to climate change in agriculture, it is necessary to continue to study how weather conditions change and how they affect agricultural production.

Keywords: soil freezing depth, climate, air temperature, precipitation.

DOI: 10.37313/2782-6562-2025-4-1-47-53

EDN: KEKOXY

REFERENCES

1. *Hlebnikova, E.I.* Изменение показателей экстремальности termического режима в XXI в.: ансамблевые оценки для территории России / E.I. Hlebnikova, Yu.L. Rudakova, I.A. Sall', S.V. Efimov, I.M. Shkol'nik // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2019. – № 3. – S. 11-23.
2. *Volodin, E.M.* Veroyatnye izmeneniya klimata v XXI veke na territorii Rossii po dannym modeli klimata INM-CM5-0 / E.M. Volodin // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2022. – № 5. – S. 5-13.
3. *Sharipova, R.B.* Ocenka vliyaniya osnovnykh agroklimaticheskikh pokazatelej na urozhajnost' zernovykh kul'tur v XXI veke (po dannym Ul'yanskoj oblasti) / R.B. Sharipova, O.G. Zotov // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2024. – T. 17. – № 2(81). – S. 23-33. – DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_23
4. *Gmurman, V.E.* Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika / V.E. Gmurman – M., 2003. – 479 s.
5. *Chuyan, O.G.* Ocenka roli klimaticheskikh, pochvennykh i agrotekhnicheskikh faktorov v formirovanii resursov produktivnosti agrolandshaftov Central'nogo Chernozem'ya / O.G. Chuyan, G.P. Glazunov, L.N. Karaulova, O.A. Mitrohina, N.V. Afonchenko, A.N. Zolotuhin, V.V. Dvojnyh // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2022. – № 6. – S. 79-87.
6. *Danilova, I.V.* Prostranstvennoe raspredelenie snegozapasov i dinamika skhoda snezhnogo pokrova v central'noj chasti Prienisejskoj Sibiri / I.V. Danilova, A.A. Onuchin // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2021. – № 1. – S. 82-92.
7. *Mohov, I.I.* Vzaimosvyaz' ploshchadi snezhnogo pokrova v Severnom polusharii po sputnikovym dannym s pripoverhnostnoj temperaturoj / I.I. Mohov, M.R. Parfenova // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2022. – № 2. – S. 32-44.
8. *Cheremisinov A.Yu., Barinov V. N., Trukhina N. I.* Relationships of nature, society, production and economics // *Models and technologies of environmental management (regional aspect 2019. № 1 (8). Pp. 8-15.*
9. *Kulik, A.V.* Dinamika promerzaniya i ottaivaniya pochvy v agrolesolandshafte / A.V. Kulik, O.A. Gordienko, M.R. Shajfullin // *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva*. – 2022. – № 112. – S. 160-180. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-112-160-180>.
10. *Iwata Y., Hirota T., Suzuki T., Kuwao K.* Comparison of soil frost and thaw depths measured using frost tubes and other methods // *Cold Regions Science and Technology*. 2012. № 71. Pp. 111-117.
11. *Kalyuzhnyj, I.L.* Izmenchivost' glubiny promerzaniya pochvy v bassejne r. Volga i ee vliyanie na processy formirovaniya zimnego i vesennego stoka pri izmeneniyah klimata / I.L. Kalyuzhnyj, S.A. Lavrov // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2016. – № 7. – S. 58-71.