

Влияние изменений климата на урожайность культур и запасы почвенной влаги

С. И. Смуров¹✉, О. В. Григоров¹, С. Н. Ермолаев¹

¹ Белгородский государственный аграрный университет, Белгород, Россия

✉ E-mail: info@bsaa.edu.ru

Аннотация. Цель исследований – изучение влияния изменившихся климатических условий Белгородской области на запасы продуктивной влаги в почве и урожайность полевых культур при использовании различных способов основной обработки почвы. **Методы исследований.** На основе собственных многолетних исследований сделан анализ влияния роста температуры воздуха и снижения суммы осадков за год на запасы почвенной влаги и урожайность культур при различных способах основной обработки почвы. **Научная новизна.** Дается обзор произошедших в последние десятилетия изменений климатических условий выращивания полевых культур на территории Белгородской области. **Результаты.** Агрометеорологические наблюдения показали, что в период с 2006 по 2021 год температура воздуха в приземном слое повысилась, а количество осадков снизилось. Участились случаи экстремальных проявлений погоды. Наблюдения за динамикой влаги в метровом слое почвы в стационарном опыте определили, что произошедшие изменения климата повлияли на ее запасы. Так, на время посева культур было отмечено снижение количества влаги в почве на 15 % от среднего показателя за эти годы, а при полной спелости культур оно снизилось на 35–43 % без существенной связи со способами основной обработки почвы. Отмечено влияние на урожайность культур экстремальных проявлений погоды в период формирования урожая. По результатам исследований сделано заключение о том, что имеется устойчивый тренд снижения запасов влаги в метровом слое почвы как на время посева, так и в период уборки культур, не зависящий от способа ее основной обработки. Прямой связи урожайности полевых культур с запасами доступной растениям влаги на время их посева и уборки в метровом слое почвы и способом ее основной обработки не установлено.

Ключевые слова: климат, среднегодовая температура воздуха, сумма осадков, почвенная влага, способы основной обработки почвы, полевые культуры, урожайность.

Для цитирования: Смуров С. И., Григоров О. В., Ермолаев С. Н. Влияние изменений климата на урожайность культур и запасы почвенной влаги // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 35–52. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-35-52.

Дата поступления статьи: 24.08.2022, **дата рецензирования:** 06.12.2022, **дата принятия:** 08.12.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Многофакторность климатических изменений, наметившихся во второй половине XX века, и многообразии их последствий для окружающей среды, отраслей экономики и качества жизни людей определяют необходимость разработки и осуществления системных мер, гарантирующих обеспечение продовольственной безопасности с учетом региональной и отраслевой специфики [1]. По прогнозам, сельское хозяйство относится к отраслям, в наибольшей степени подверженным эффектам изменения климата. Острой проблемой является дефицит воды на фоне роста температуры воздуха, что требует пересмотра отдельных элементов технологии выращивания сельскохозяйственных культур [2].

В Белгородской области за 45-летний срок наблюдений на метеорологическом посту п. Майский Белгородского района с 1976 года по 2021 год включительно размах колебаний погодных параметров носил достаточно широкий диапазон. Так, минимум среднегодовой температуры воздуха равнялся 4,3 °С, а максимум – 9,3 °С. Количество осадков за год изменялось в пределах от 349 мм до 830 мм с переувлажнением почвы в период формирования плодов у полевых культур, что приводило к их полеганию и в последующем к потере урожая. При этом к началу 2022 года относительно 1976 года среднегодовая температура воздуха возросла на 2,9 °С, а количество осадков за год уменьшилось на 220 мм (рис. 1 и 2).

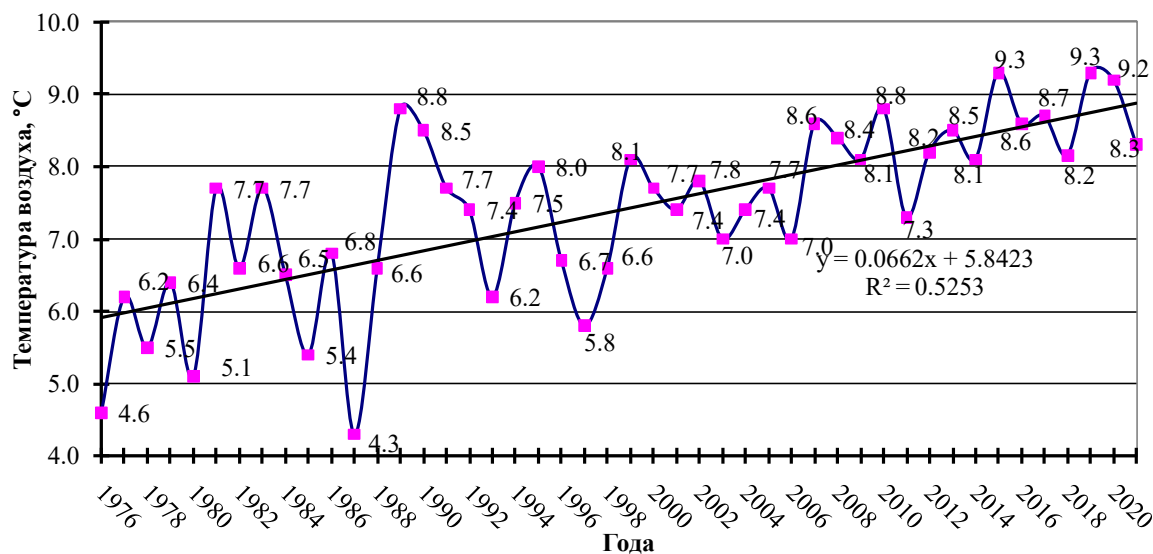


Рис. 1. Среднегодовая температура воздуха (по данным метеопоста Белгородского ГАУ)

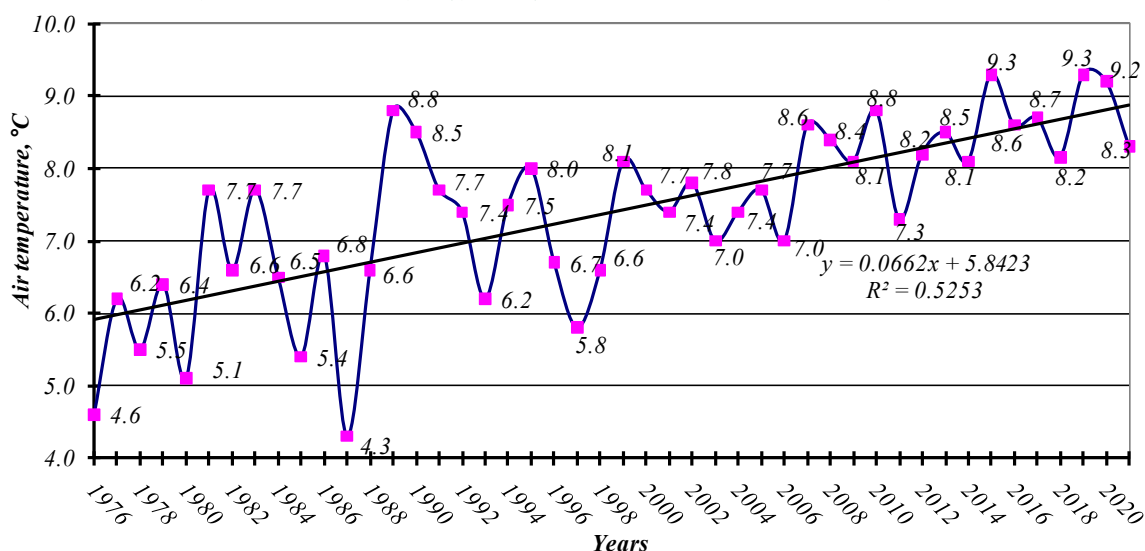


Fig. 1. Average annual air temperature (according to the meteorological post of the Belgorod State Agrarian University)

Несмотря на совершенствование агротехники возделывания культур, влияние погоды на урожай было и остается значимым (рис. 3 и 4).

Долгое время считалось, что глобальное потепление оказывает благоприятное влияние на полевые культуры региона. До конца 80-х годов XX века наблюдалось стабильное увеличение урожайности полевых культур, но в первой половине 90-х климатические условия резко изменились. Обострилась экстремальность погоды в виде существенного недостатка осадков на фоне высокой температуры воздуха в вегетационный период, как, например, в 1994 году, или значительное уменьшение количества выпавших осадков при существенном снижении температуры.

Анализ метеоданных за период с 1981 года по 2010 год, проведенный Е. П. Новиковой, Г. Н. Григорьевым, И. Ю. Вагуриным и А. С. Чумейкиной, показал, что в Центрально-Черноземном регионе среднегодовая температура

воздуха увеличилась на 1,0–1,3 °C при близкой к многолетним показателям годовой сумме осадков, однако их выпадение приходилось в основном на летний период, но при этом с засухой в августе и наибольшей изменчивостью их количества в осенние месяцы [3, с. 107, 111].

Для эффективного использования ресурсов климата и погоды с целью повышения продуктивности сельскохозяйственного производства необходимо знать, какие явления и процессы происходят как в приземном слое атмосферы в целом, так и на поверхности почвы и ее верхнем слое.

Оценить изменчивость климата и как его частные случаи температуру воздуха в приземном слое, количество выпавших атмосферных осадков, обеспечивающих запасы продуктивной влаги в почве, которые определяют сроки сева, норму высева, глубину заделки семян и т. д., возможно только благодаря целенаправленному систематическому контролю этих показателей [3, с. 112; 4, с. 56–59].

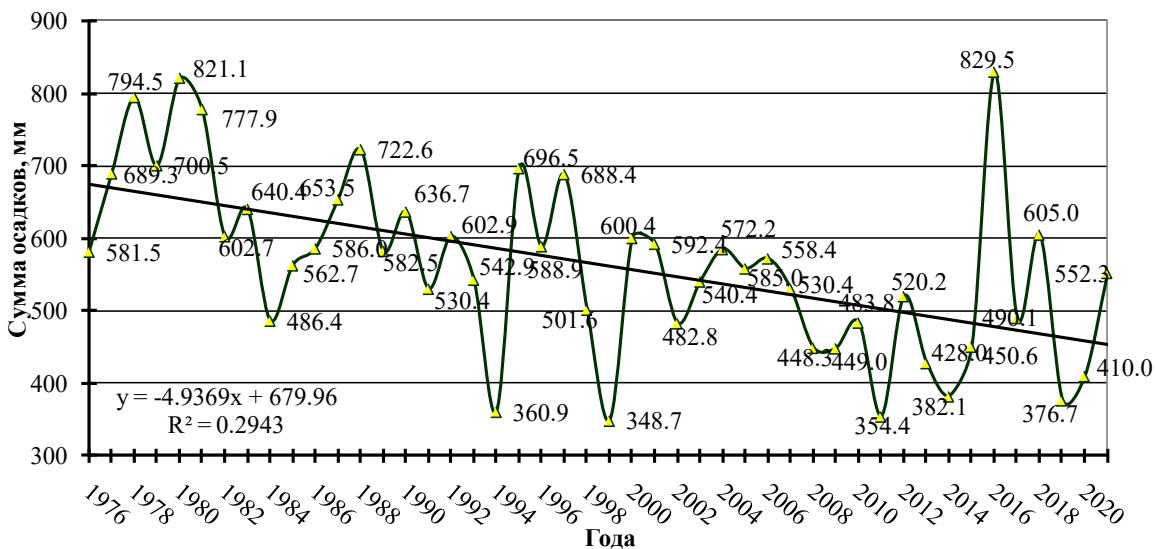


Рис. 2. Сумма осадков за календарный год (по данным метеопоста Белгородского ГАУ)

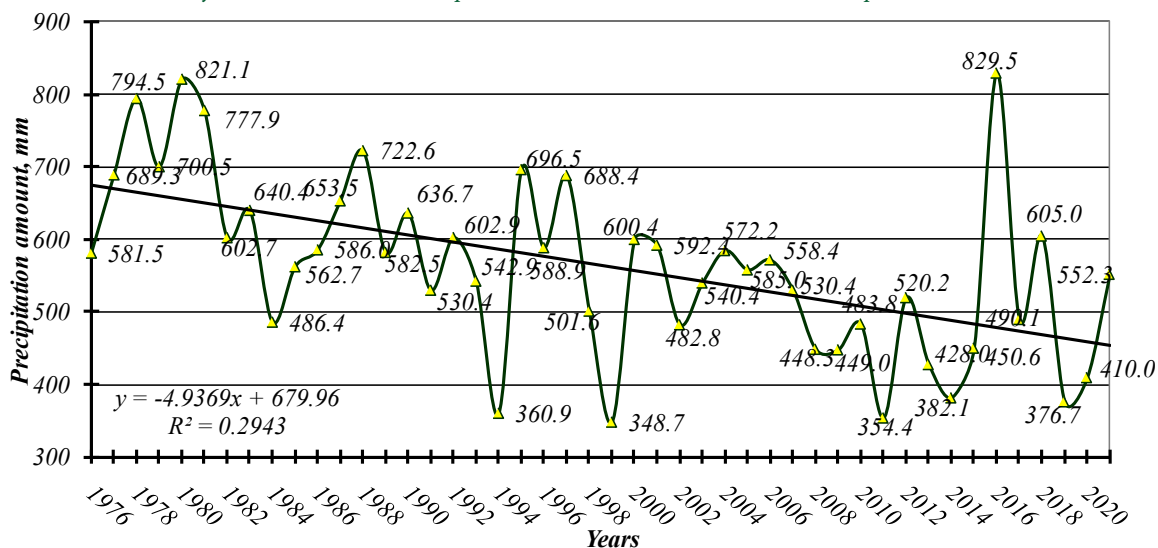


Fig. 2. The amount of precipitation for a calendar year (according to the meteorological post of the Belgorod State Agrarian University)

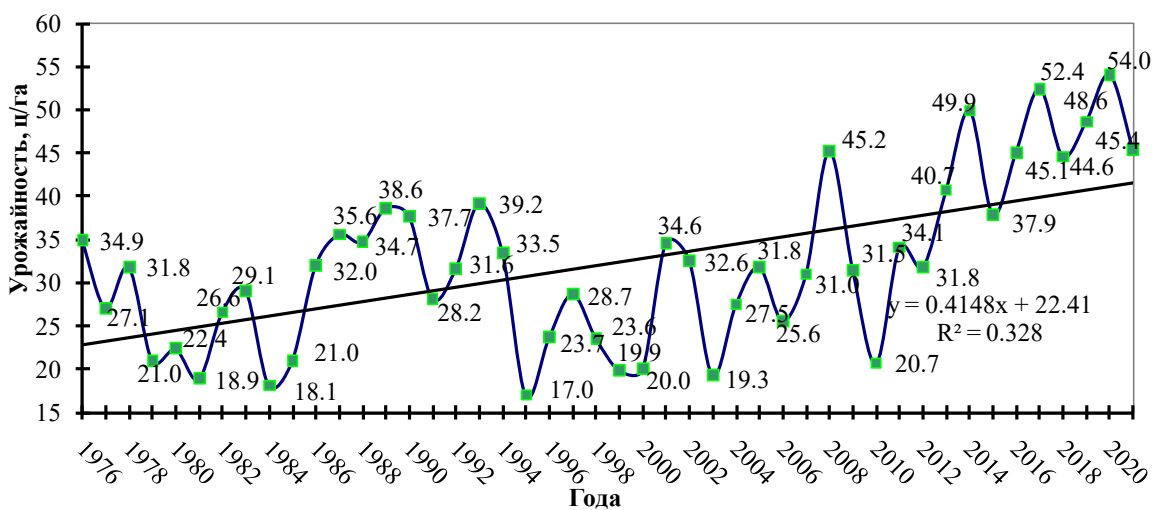


Рис. 3. Урожайность озимой пшеницы в Белгородской области (по данным ДАПК и Росстата Белгородской области)

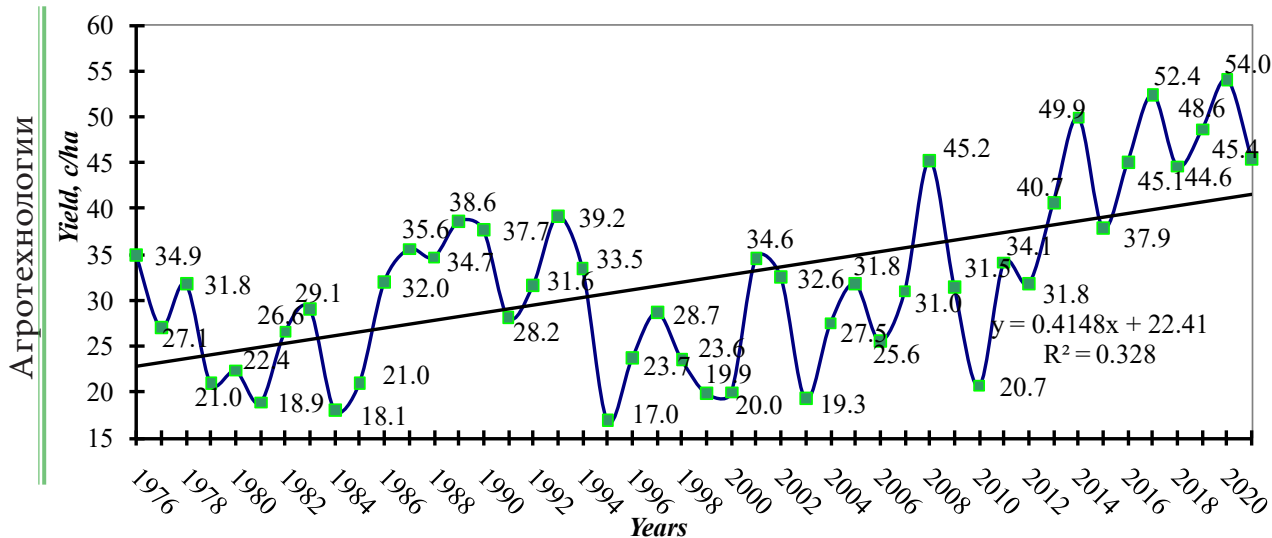


Fig. 3. Winter wheat yield in the Belgorod region (according to the Department of Agro-industrial complex and Rosstat of the Belgorod region)

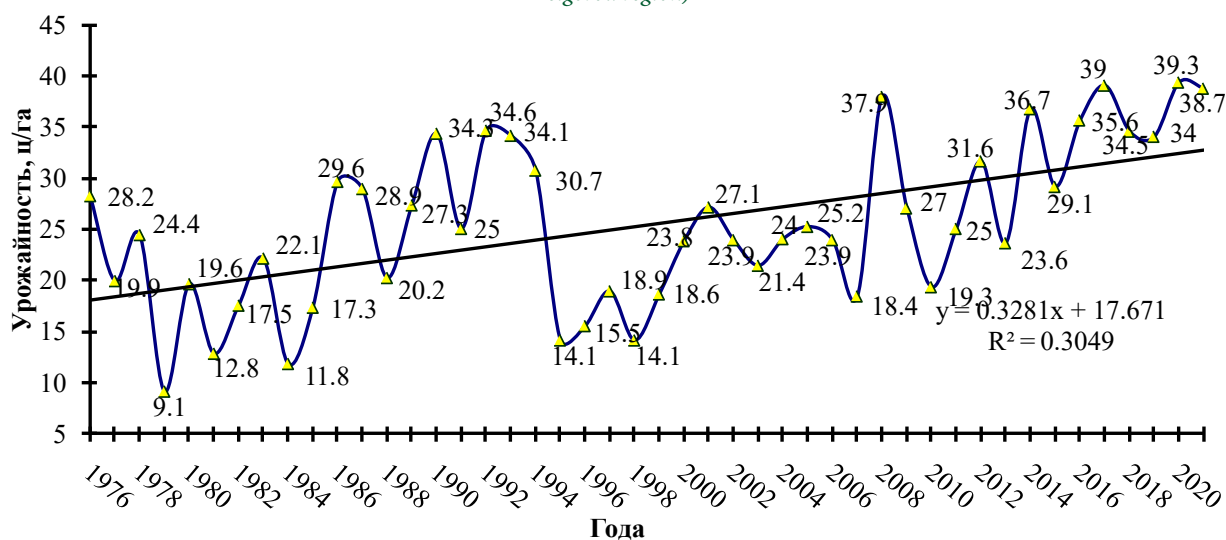


Рис. 4. Урожайность ярового ячменя в Белгородской области (по данным ДАПК и Росстата Белгородской области)

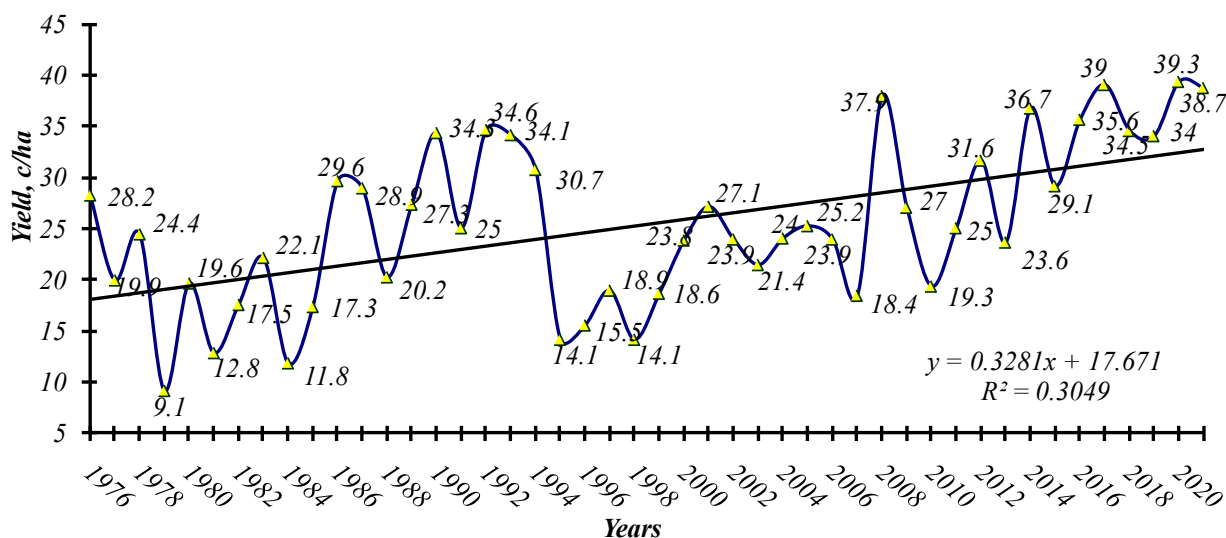


Fig. 4. Yield of spring barley in the Belgorod region (according to the Department of Agro-industrial complex and Rosstat of the Belgorod region)

Проводившийся специалистами НИУ «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» анализ данных, полученных на агрометеорологических станциях, показал, что современные климатические изменения на территории Белгородской области выражаются в существенном росте изменчивости запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы в конце лета – начале сентября. Это приводит к ухудшению условий сева озимых культур и в последующем может привести к их пересеву. Запасы влаги летнего периода подвержены меньшей изменчивости, а влагообеспеченность пахотного слоя почвы весной к началу вегетации близка к многолетним значениям. [3, с. 108–112].

Однако обобщение данных на основании стандартных агрометеорологических наблюдений без привязки их к традиционным и новым агротехнологиям не дает полного представления о влиянии изменений климата на ведение сельскохозяйственного производства. Если большинство погодных факторов (температура воздуха в приземном слое, его влажность, количество выпавших осадков и другие) можно отследить на метеопостах, то содержание влаги в почве, изменение ее количества в динамике, необходимые для анализа принятия соответствующих решений в перспективе, нужно проводить с привязкой к агротехнологиям и возделываемым культурам.

В исследованиях российских и зарубежных ученых одно из центральных мест занимает разработка системы основной обработки почвы в севообороте, позволяющая остановить деградацию почв, повысить их эффективное и потенциальное плодородие.

Механическая обработка почвы является одним из старейших технологических комплексов в земледелии. Пройдя длительный путь развития от примитивных до современных интенсивных приемов, она осталась самым значимым, самым трудоемким и самым проблематичным элементом системы земледелия.

В первой половине XX века был проведен ряд успешных экспериментов использования мелкой и безотвальной обработок почвы в Германии, Англии, Америке. Тем не менее подобные обработки не стали основными в мировом земледелии. С 90-х годов XX века в России наметилась тенденция к переходу на технологии сберегающего земледелия. Накоплен положительный практический опыт по ресурсосберегающему земледелию в Белгородской области [5, с. 152–161] и в других регионах России.

Данные исследований по влиянию приемов основной обработки черноземов на плодородие почвы и урожайность культур противоречивы. Они зависят от почвенных условий региона и сложившихся метеорологических условий. Ряд авторов

утверждают, что технология No-Till оказывает положительное влияние на сохранение и накопление влаги по сравнению с традиционными приемами основной обработки почвы и рост урожайности культур [6, с. 28–31; 7, с. 8–9]. Другие исследователи, напротив, указывают на увеличение влажности почвы и запасов влаги при использовании вспашки в качестве приема основной обработки почвы. В отдельных исследованиях не отмечено достоверных различий между приемами обработки почвы по их влиянию на урожайность [8, с. 31].

Обработка почвы, нарушая или ликвидируя мульчирующий слой на поверхности почвы, приводит к эрозии [9, с. 130]. Отвальная вспашка, перемешивая растительные остатки с почвой, ускоряет их разложение. При этом происходит взрыв микробиологической активности, и если он не совпадает по времени с процессами активного роста и развития растений, то следствием являются избыточная минерализация и последующие потери питательных веществ в атмосферу и при вымывании. [10, с. 13–17; 11, с. 11–12].

В течение длительного периода и по настоящее время вспашка является господствующей в районах интенсивного земледелия, так как по одной из теорий считается приемом, создающим оптимальные условия для роста полевых культур и гумусообразования. Однако данные научных работ и земледельческая практика последних десятилетий в различных регионах мира убедительно показывают преимущество безотвальных обработок над глубокой вспашкой черноземов как при возделывании полевых культур, так и при почвообразовательном процессе. [11, с. 10–14].

В последние годы наряду с использованием традиционных приемов системы основной обработки проводится активная разработка перспективных экономически выгодных энерго- и ресурсосберегающих и одновременно почвозащитных технологий – минимальной и нулевой обработки почвы с прямым посевом культур, которые предусматривают сокращение количества агротехнических операций.

Исследованиями А. В. Шабалкина, В. А. Воронцова и Ю. П. Скорочкина было установлено, что замена традиционной вспашки на ресурсосберегающие способы обработки почвы без оборота пласта экономически целесообразна, но при условии устранения негативного влияния сорной растительности с помощью гербицидов [12, с. 56–59].

Переход на технологию с минимальным рыхлением почвы наступает с уборки урожая, в процессе которой измельченные пожнивные остатки равномерно распределяются по поверхности почвы. В результате появляется почвозащитное покрытие – мульча, которая противостоит ветровой и водной эрозии, обеспечивает сохранение влаги, препятствует прорастанию сорной растительно-

сти, способствует увеличению биологической активности почвы, считается основой для возобновления плодородного слоя и повышения урожайности культур [13, с. 55–57; 14, с. 16–17].

Более производительное использование влаги при внесении удобрений основывается на повышении концентрации питательных веществ в почвенном растворе, в связи с чем для поглощения одного и того же их количества растению требуется меньше влаги [15; 16].

Целью исследования являлось изучение влияния изменившихся климатических условий Белгородской области на запасы продуктивной влаги в почве и урожайность полевых культур при использовании различных способов основной обработки почвы.

Методология и методы исследования (Methods)

Многолетний стационар по изучению различных способов основной обработки почвы был заложен в 1990 году. Изучение вариантов опыта проводится с основным внесением минеральных удобрений дисковой сеялкой поперек наложения способов основной подготовки почвы на глубину 6–7 см из расчета $N_{30}P_{30}K_{30}$ кг д. в. на гектар. Общий фон под основные обработки почвы – лушение стерни вслед за уборкой предшественника с последующим мелким рыхлением по мере по-

явления всходов сорняков и падалицы. Основная обработка почвы в полях севооборотов делается в соответствии со схемой, приведенной в таблице 1.

Почва опытных полей – чернозем типичный, среднемощный, тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. По результатам агрохимического обследования 2021 года содержание органического вещества в слое 0–30 см в зависимости от способа основной обработки почвы составляет 5,1–5,3 %. Степень кислотности $pH_{\text{сол}}$ равнялась 5,5–6,1 единицы, гидролизуемого азота – 164–168 мг, подвижного фосфора – 199–251 мг, обменного калия – 91–106 мг на 1 кг почвы.

Метеорологические условия в период с 2006 года по 2021 год представлены в таблице 2.

Во все годы исследований среднегодовая температура воздуха превышала среднее многолетнее значение. Отклонение варьировало в пределах 0,7–3,0 °С, и в среднем за 16 лет составило 2,1 °С. Также во время проведения опыта в течение 11 лет наблюдался и недобор осадков за год. Только в 2006, 2007, 2018 и 2021 году количество выпавших осадков было близко к норме. Исключительным был 2016 год, за который выпала полуторная норма атмосферных осадков. В среднем по годам сумма осадков составляла 493 мм, или 89 % от среднего многолетнего значения.

Таблица 1
Севооборот и способы основной обработки почвы под полевые культуры

Севооборот	Способы основной обработки почвы		
	Обработка	Орудие	Глубина обработки, см
1-е поле. Зернобобовые культуры (горох на зерно)	Вспашка	ПН-5-35	22–25
	Мелкая безотвальная	ДМ 4×2	14–16
	Глубокая безотвальная	ПЧ-2,5	40–42
2-е поле. Озимая пшеница	Мелкая безотвальная	Гелиодор	6–8
3-е поле. Пропашные культуры (подсолнечник)	Вспашка	ПН-5-35	27–30
	Мелкая безотвальная	ДМ 4×2	14–16
	Глубокая безотвальная	ПЧ-2,5	40–42
4-е поле. Яровой ячмень	Вспашка	ПН-5-35	22–25
	Мелкая безотвальная	ДМ 4×2	14–16
	Глубокая безотвальная	ПЧ-2,5	40–42

Table 1
Crop rotation and methods of basic tillage for field crops

Crop rotation	Methods of basic tillage		
	Processing	Tillage tool	Processing depth, cm
1 st field. Leguminous crops (peas for grain)	Plowing	PN-5-35	22–25
	Shallow non-shaft	DM 4×2	14–16
	Deep non-shaft	PCh-2,5	40–42
2 nd field. Winter wheat	Shallow non-shaft	Heliodor	6–8
3 rd field. Row crops (sunflower)	Plowing	PN-5-35	27–30
	Shallow non-shaft	DM 4×2	14–16
	Deep non-shaft	PCh-2,5	40–42
4 th field. Spring barley	Plowing	PN-5-35	22–25
	Shallow non-shaft	DM 4×2	14–16
	Deep non-shaft	PCh-2,5	40–42

Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом, отбор образцов производился с помощью бура Розанова на глубину от 0 до 100 см через каждые 10 см. Наблюдения и учеты выполнялись по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Математическая обработка данных всех опытов делалась методом дисперсионного анализа.

Результаты (Results)

Наблюдения за динамикой почвенной влаги в период 2006 года по 2021 год определили, что имевшиеся в последние десятилетия изменения климата повлияли на запасы почвенной влаги.

С 2006 года по 2021 год колебания запасов влаги в слое почвы 0–30 см на период посева культур по отвальной пахоте были в пределах от 31 мм до 55 мм, и в среднем за это время они составляли 44 мм, при мелком безотвальном рыхлении – от 34 мм до 55 мм, в среднем 45 мм, а при глубоком безотвальном рыхлении – в пределах от 34 мм до 53 мм, или в среднем 46 мм. Разница в средних запасах продуктивной влаги между способами основной обработки почвы составляла 1–2 мм в пользу глубокого безотвального рыхления (рис. 5, 7, 9, таблица 3)

Таблица 2
Метеорологические условия за 2006–2021 гг.

Год исследований	Среднесуточная температура воздуха, °С		Сумма осадков, мм	
	Средняя за год	Отклонение от средней многолетней (6,3 °С)	За год	Отклонение от средней многолетней (551 мм), %
2006	7,0	0,7	572	104
2007	8,6	2,3	530	96
2008	8,4	2,1	449	81
2009	8,1	1,8	448	81
2010	8,8	2,5	484	88
2011	7,3	1,0	354	64
2012	8,2	1,9	520	94
2013	8,5	2,2	428	78
2014	8,0	1,7	382	69
2015	9,3	3,0	451	82
2016	8,6	2,3	830	151
2017	8,7	2,4	490	89
2018	8,2	1,9	605	110
2019	9,3	3,0	377	68
2020	9,2	2,9	410	74
2021	8,3	2,0	552	100
Среднее	8,4	2,1	493	89

Table 2
Meteorological conditions for 2006–2021

Year of research	Average daily air temperature, °C		Precipitation amount, mm	
	Average for the year	Deviation from the average long – term (6.3 °C)	Per year	Deviation from the average long – term (551 mm), %
2006	7.0	0.7	572	104
2007	8.6	2.3	530	96
2008	8.4	2.1	449	81
2009	8.1	1.8	448	81
2010	8.8	2.5	484	88
2011	7.3	1.0	354	64
2012	8.2	1.9	520	94
2013	8.5	2.2	428	78
2014	8.0	1.7	382	69
2015	9.3	3.0	451	82
2016	8.6	2.3	830	151
2017	8.7	2.4	490	89
2018	8.2	1.9	605	110
2019	9.3	3.0	377	68
2020	9.2	2.9	410	74
2021	8.3	2.0	552	100
Average	8.4	2.1	493	89

Таблица 3
Запасы продуктивной влаги в зависимости от способов основной обработки почвы, мм
(среднее по культурам севооборота за 2006–2021 гг.)

Способы основной обработки почвы	Глубина отбора проб, см	Период отбора проб	
		Посев	Уборка
Отвальная вспашка	0–30	44	30
	0–100	162	92
Мелкое безотвальное рыхление	0–30	45	29
	0–100	168	93
Глубокое безотвальное рыхление	0–30	46	30
	0–100	167	95
Среднее	0–30	45	30
	0–100	166	93

Table 3
Reserves of productive moisture depending on the methods of basic tillage, mm
(average for crops of crop rotation for 2006–2021)

Methods of basic tillage	Sampling depth, cm	Sampling period	
		Sowing	Harvesting
Plowing	0–30	44	30
	0–100	162	92
Shallow non-shaft loosening	0–30	45	29
	0–100	168	93
Deep non-shaft loosening	0–30	46	30
	0–100	167	95
Average	0–30	45	30
	0–100	166	93

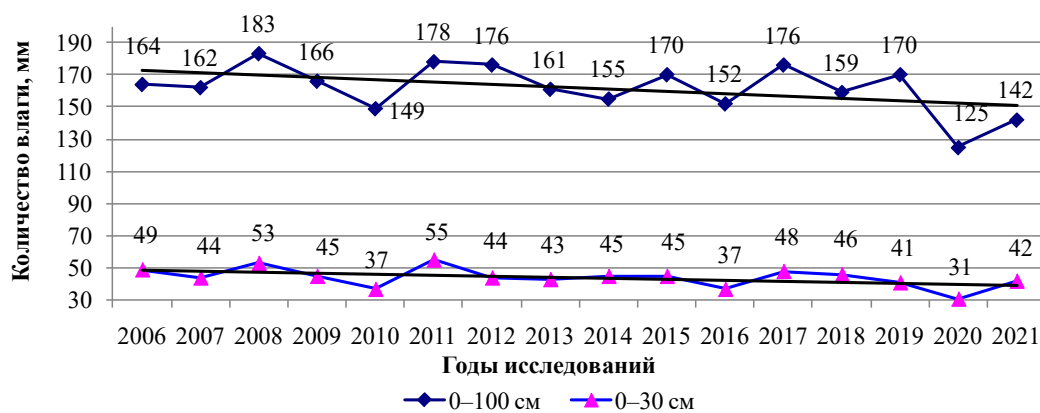


Рис. 5. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период посева при отвальной вспашке (2006–2021 гг.)

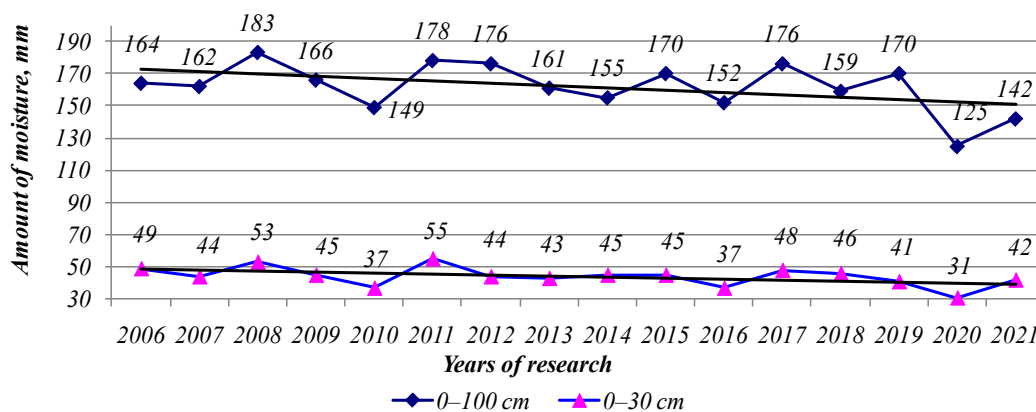


Fig. 5. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during the sowing period during with plowing (2006–2021)

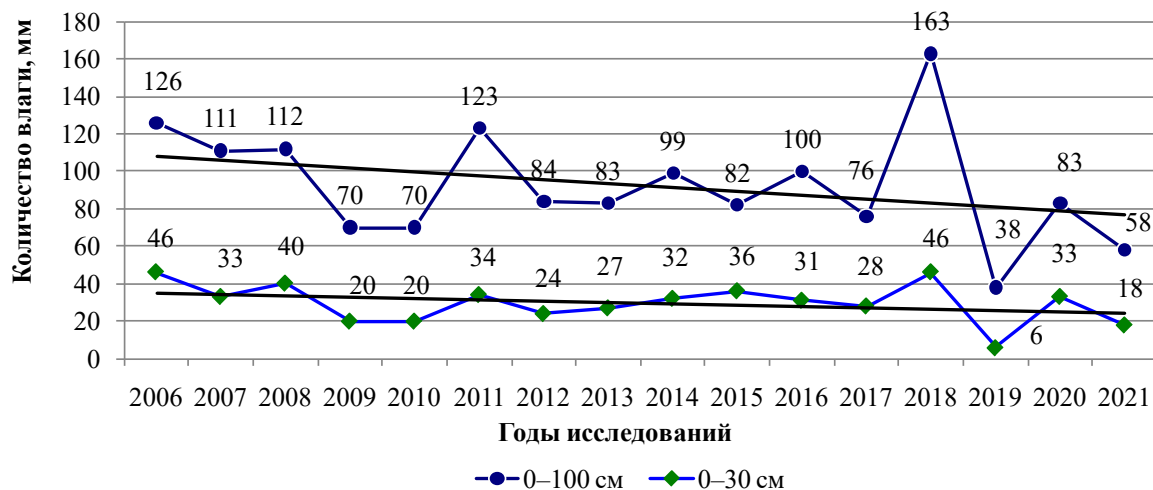


Рис. 6. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период уборки при отвальной вспашке (2006–2021 гг.)

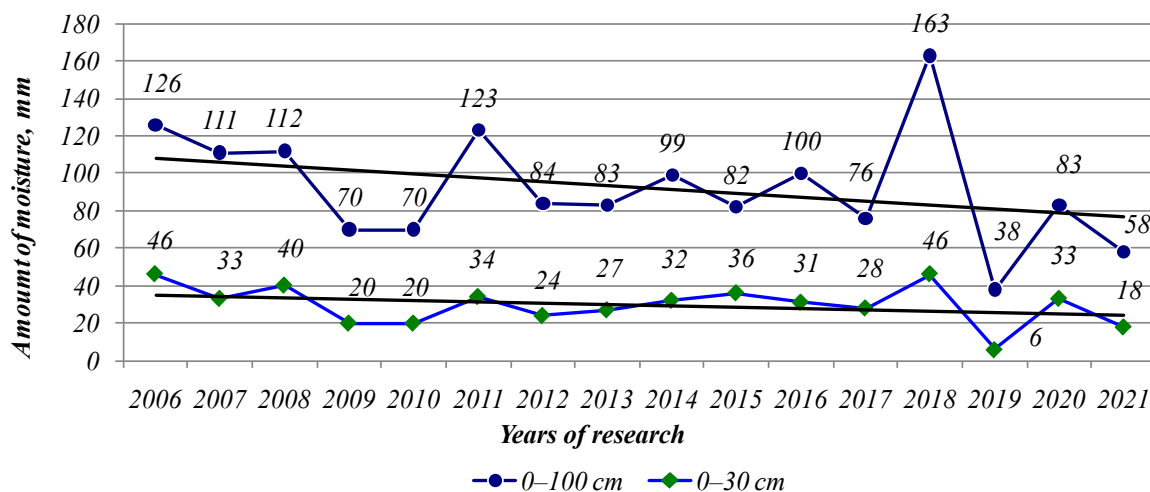


Fig. 6. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during harvesting with plowing (2006–2021)

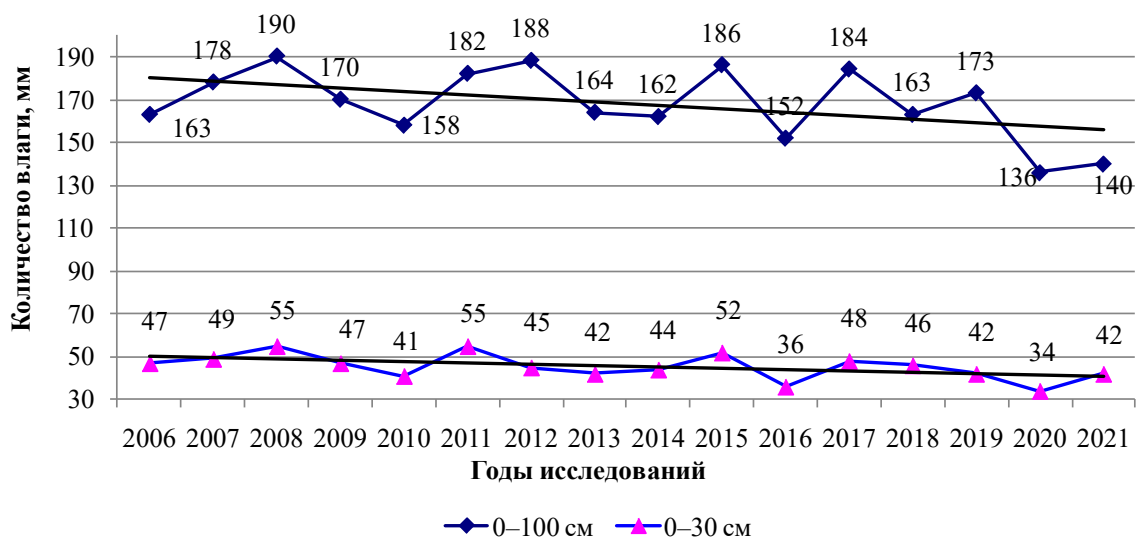


Рис. 7. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период посева при мелком безотвальном рыхлении (2006–2021 гг.)

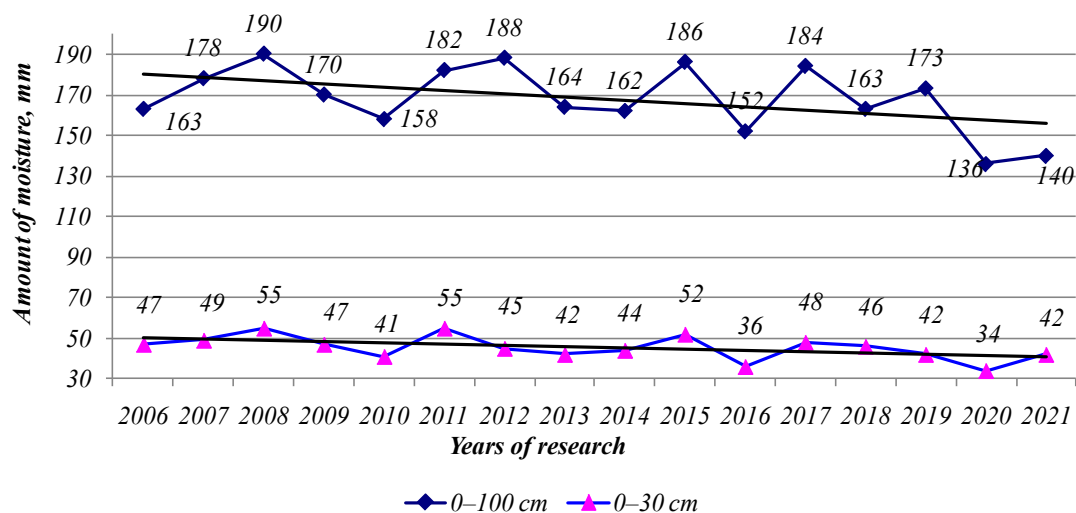


Fig. 7. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during the sowing period with shallow non-shaft loosening (2006-2021)

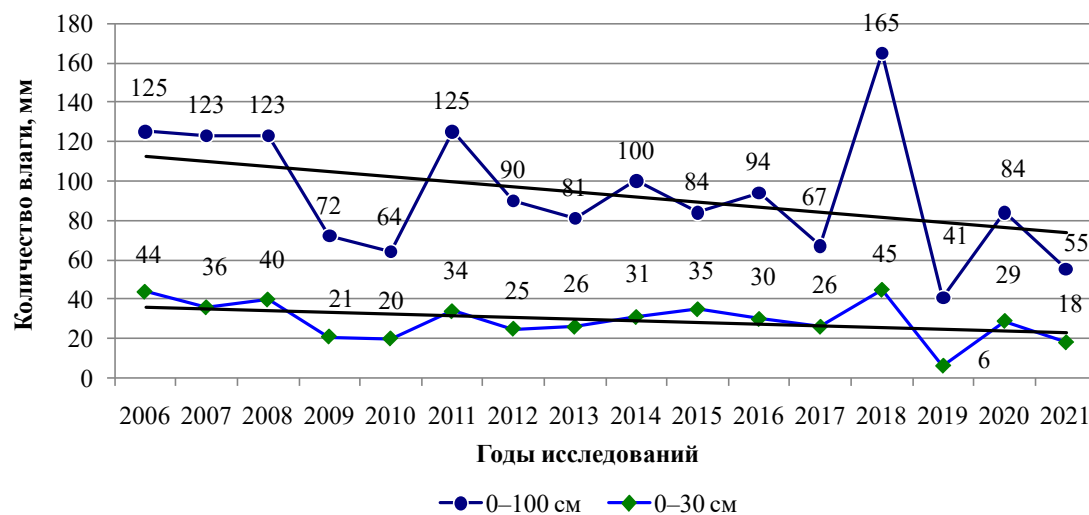


Рис. 8. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период уборки при мелком безотвальном рыхлении (2006-2021 гг.)

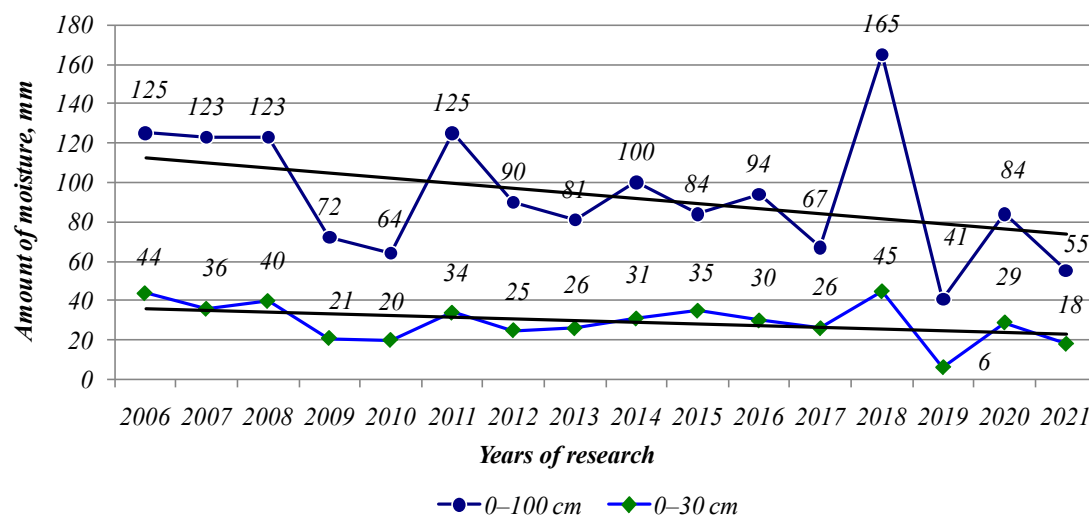


Fig. 8. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during the harvesting period with shallow non-shaft loosening (2006-2021)

Минимальными запасами почвенной влаги выделился 2020 год, когда в указанный период по пахоте содержалось только 31 мм влаги, а по безотвальной обработке – на 3 мм больше. В метровом слое почвы более высокое содержание влаги также наблюдалось при безотвальной рыхлении – 136-137 мм. По сравнению со вспашкой разница в сторону увеличения составляла 11–12 мм (рис. 5, 7 и 9).

Согласно параметрам, определенным для чернозема типичного тяжелосуглинистого, по запасам влаги в метровом слое по всем способам основной подготовки почвы ее увлажнение можно оценить как оптимальное. Только в 2020 году по варианту с отвальной обработкой почвы оно характеризовалось как удовлетворительное.

К моменту уборки культур в слое почвы 0–30 см в среднем по годам запасы доступной растениям влаги составляли 29–30 мм без различий по спо-

собам основной обработки почвы. Критический для растений минимум наблюдался в 2019 году – 6–7 мм. В метровом же слое количество влаги было незначительно, но практически ежегодно больше по глубокой безотвальной обработке (рис. 6, 8, 10).

Наметившиеся в конце прошлого века изменения климата в сторону повышения температуры воздуха и снижения выпадения осадков отразились и на содержании доступной растениям влаги в почве, ее количество снизилось, о чем свидетельствуют полученные данные в проведенных исследованиях. Так, относительно 2006 года, или за 16 лет исследований, количество продуктивной влаги в метровом слое на время посева культур независимо от способа основной обработки почвы под ни по линии тренда в диаграммах в среднем снизилось на 25 мм, что составило 15 % от среднего количества влаги в почве в начале наблюдений.

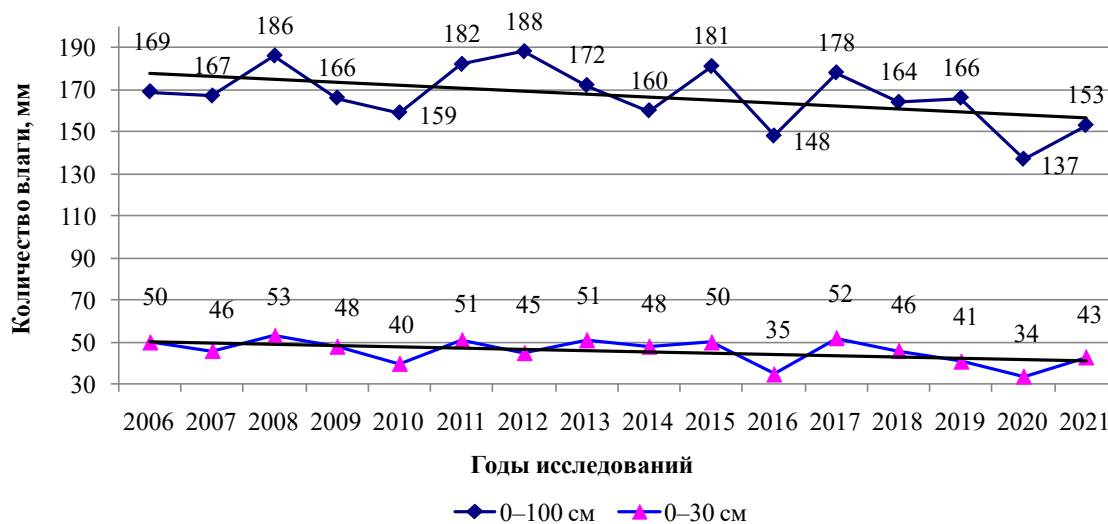


Рис. 9. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период посева при глубоком безотвальном рыхлении (2006–2021 гг.)

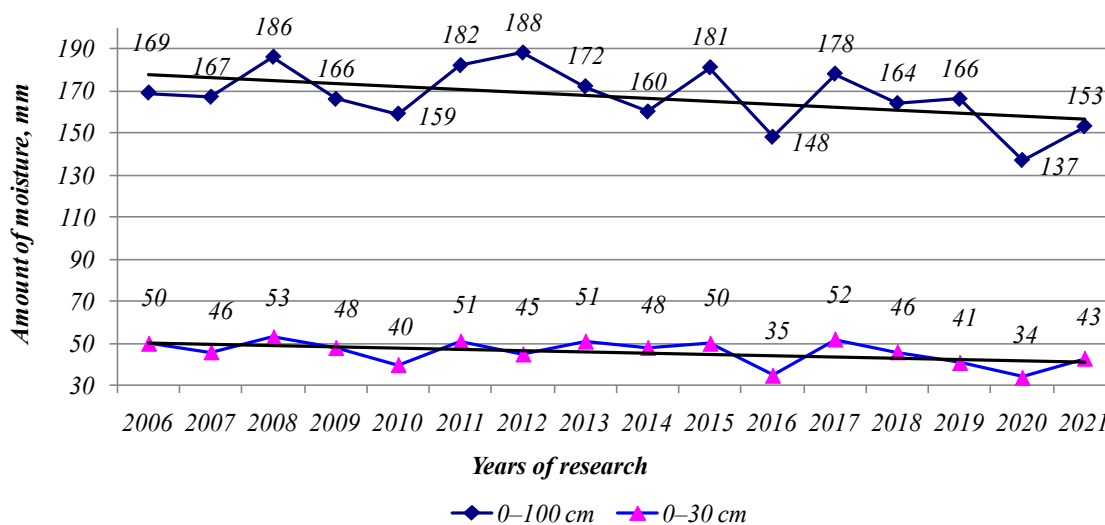


Fig. 9. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during the sowing period with deep non-shaft loosening (2006–2021)

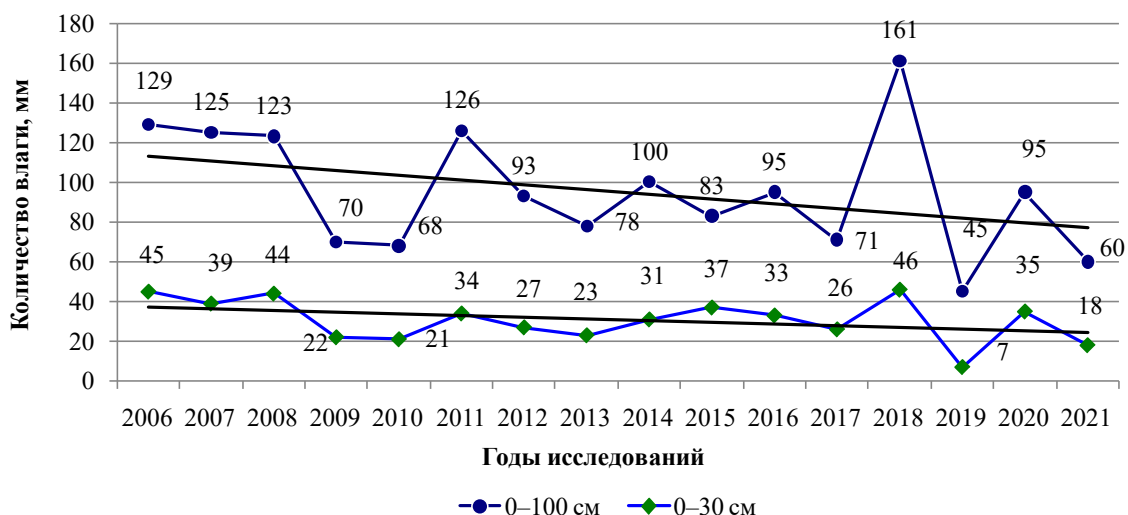


Рис. 10. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период уборки при глубоком безотвальном рыхлении (2006–2021 гг.)

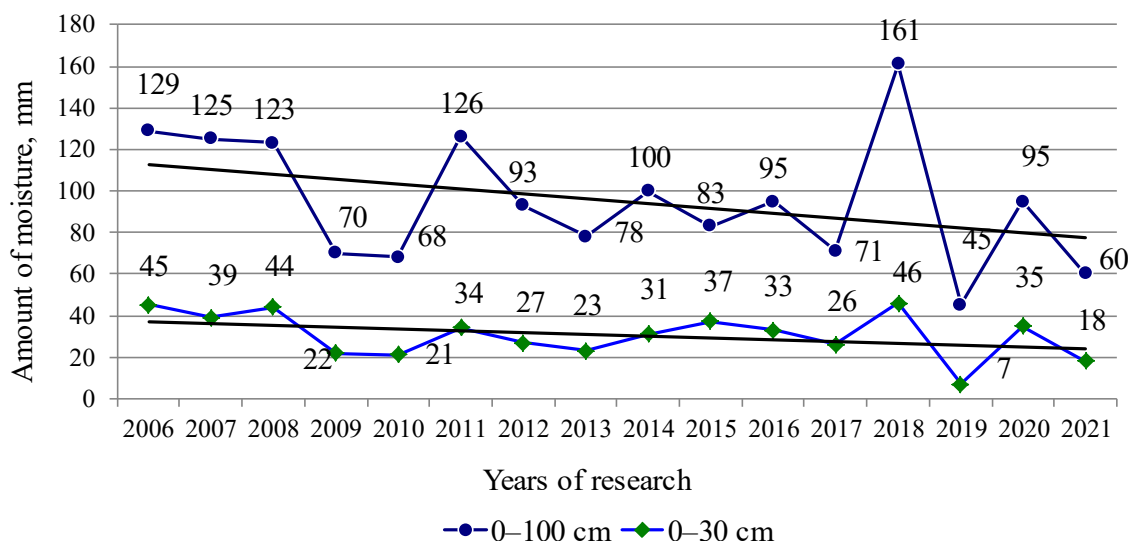


Fig. 10. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during the harvesting period with deep non-shaft loosening (2006–2021)

На время уборки культур снижение запасов доступной влаги в почве было более значительным: так, по отвальной вспашке и при глубоком безотвальном рыхлении оно составляло 33–34 мм, или 35 %, а при использовании мелкой безотвальной обработки – 40 мм, или 43 % (рис. 5–10).

В верхнем 30-сантиметровом слое почвы снижение количества продуктивной влаги в абсолютном выражении было менее значимым. Так, в период посева ее запасы уменьшились в среднем на 10 мм, а на время уборки – на 15 мм. Однако в относительном выражении от общего количества доступной растениям влаги оно достигало 22 % при посеве и 50 % при уборке.

За время проведения опыта была выявлена тенденция к увеличению сбора зерна озимой пшеницы и маслосемян подсолнечника по глубокой безотвальной обработке почвы. Яровой ячмень, так же как и горох на зерно, лучшую урожайность в

среднем за 16 лет опыта показал по отвальной пахоте. При этом прямой достоверной зависимости величины сбора зерна и маслосемян от запасов почвенной влаги на время посева и уборки культур не было (таблицы 4, 5).

Следует отметить, что наибольшей вариативностью по урожайности в количественном измерении за годы исследований выделилась озимая пшеница. Амплитуда изменений величины сбора урожая от минимума до максимума составила почти 7 тонн от 2,44 т/га в 2006 году до 9,12 т/га в 2017 году, а отклонения от средней величины этого показателя равного 5,85 т/га находились в диапазоне от –3,41 т/га до +3,27 т/га. Во многом подобную ситуацию определяли термические погодные условия зимой и в критические периоды развития озимой пшеницы, а не запасы почвенной влаги в ее посевах и способы основной подготовки почвы под ее предшественник, которым в опыте был горох на зерно (таблицы 4, 5, рис. 11).

Урожайность полевых культур в зависимости от способов основной обработки почвы, т/га (2006–2021 гг.)

Годы	Культуры севооборота и способы* основной обработки почвы															
	Горох на зерно				Озимая пшеница				Подсолнечник				Яровой ячмень			
	ОВ	МБР	ГБР	НСР	ОВ	МБР	ГБР	НСР	ОВ	МБР	ГБР	НСР	ОВ	МБР	ГБР	НСР
2006	2,45	2,31	2,30	0,33	2,38	2,35	2,59	0,28	3,80	3,84	3,81	0,16	6,00	6,23	6,02	0,17
2007	0,93	1,09	1,11	0,12	5,99	6,21	6,17	0,32	3,82	3,93	3,92	0,16	3,26	3,27	3,02	0,44
2008	1,94	1,95	2,00	0,15	5,90	6,13	5,98	0,41	4,02	3,97	4,06	0,22	7,26	7,20	7,10	0,27
2009	2,38	2,30	2,31	0,20	5,80	5,84	5,86	0,42	2,50	2,45	2,54	0,27	3,96	4,04	4,07	0,33
2010	1,58	1,56	1,58	0,25	2,55	2,71	2,89	0,27	2,51	2,74	2,66	0,31	2,18	2,76	2,57	0,25
2011	1,88	1,90	1,80	0,34	6,53	6,88	7,03	0,29	2,61	2,64	2,54	0,31	4,39	4,77	4,77	0,31
2012	1,99	2,11	2,08	0,43	2,93	2,92	3,01	0,38	2,99	2,95	2,98	0,34	4,82	5,00	5,18	0,37
2013	0,98	0,84	0,72	0,12	5,99	6,35	6,01	0,23	2,29	2,51	2,44	0,36	3,20	3,74	3,30	0,37
2014	3,12	2,84	2,87	0,23	7,02	7,58	7,45	0,25	3,48	3,36	3,45	0,48	4,87	5,05	4,72	0,38
2015	2,23	2,00	2,03	0,29	6,02	5,91	6,08	0,23	2,93	2,86	3,32	0,24	4,26	3,49	4,13	0,41
2016	2,45	2,09	2,31	0,23	5,74	5,51	5,49	0,51	3,32	3,32	3,56	0,34	5,68	4,99	5,26	0,37
2017	3,69	3,66	3,68	0,32	9,09	9,07	9,20	0,54	2,57	2,54	2,78	0,20	6,57	5,83	6,17	0,37
2018	1,51	1,38	1,48	0,31	6,85	6,54	6,51	0,39	3,10	2,90	2,87	0,32	4,22	5,04	3,73	0,33
2019	1,26	1,26	1,22	0,13	6,55	6,32	6,46	0,32	3,91	3,52	3,66	0,36	5,22	4,48	4,66	0,35
2020	2,13	2,16	2,16	0,21	8,19	7,97	8,24	0,59	3,04	3,10	3,09	0,45	6,29	5,95	6,01	0,30
2021	3,01	2,99	3,12	0,29	5,17	5,37	5,41	0,34	2,49	2,14	2,81	0,35	4,47	3,81	3,99	0,29
Среднее	2,10	2,03	2,05	0,26	5,79	5,85	5,90	0,38	3,09	3,05	3,16	0,32	4,79	4,73	4,67	0,34

* ОВ – отвальная вспашка; МБР – мелкое безотвальное рыхление; ГБР – глубокое безотвальное рыхление; НСР – наименьшая существенная разница при 5 % уровне значимости.

Table 4

Yield of field crops depending on the methods of basic tillage, t/ha (2006–2021)

Years	Crop rotation cultures and methods* of basic tillage															
	Peas for grain				Winter wheat				Sunflower				Spring barley			
	P	SL	DL	LSD	P	SL	DL	LSD	P	SL	DL	LSD	P	SL	DL	LSD
2006	2.45	2.31	2.30	0.33	2.38	2.35	2.59	0.28	3.80	3.84	3.81	0.16	6.00	6.23	6.02	0.17
2007	0.93	1.09	1.11	0.12	5.99	6.21	6.17	0.32	3.82	3.93	3.92	0.16	3.26	3.27	3.02	0.44
2008	1.94	1.95	2.00	0.15	5.90	6.13	5.98	0.41	4.02	3.97	4.06	0.22	7.26	7.20	7.10	0.27
2009	2.38	2.30	2.31	0.20	5.80	5.84	5.86	0.42	2.50	2.45	2.54	0.27	3.96	4.04	4.07	0.33
2010	1.58	1.56	1.58	0.25	2.55	2.71	2.89	0.27	2.51	2.74	2.66	0.31	2.18	2.76	2.57	0.25
2011	1.88	1.90	1.80	0.34	6.53	6.88	7.03	0.29	2.61	2.64	2.54	0.31	4.39	4.77	4.77	0.31
2012	1.99	2.11	2.08	0.43	2.93	2.92	3.01	0.38	2.99	2.95	2.98	0.34	4.82	5.00	5.18	0.37
2013	0.98	0.84	0.72	0.12	5.99	6.35	6.01	0.23	2.29	2.51	2.44	0.36	3.20	3.74	3.30	0.37
2014	3.12	2.84	2.87	0.23	7.02	7.58	7.45	0.25	3.48	3.36	3.45	0.48	4.87	5.05	4.72	0.38
2015	2.23	2.00	2.03	0.29	6.02	5.91	6.08	0.23	2.93	2.86	3.32	0.24	4.26	3.49	4.13	0.41
2016	2.45	2.09	2.31	0.23	5.74	5.51	5.49	0.51	3.32	3.32	3.56	0.34	5.68	4.99	5.26	0.37
2017	3.69	3.66	3.68	0.32	9.09	9.07	9.20	0.54	2.57	2.54	2.78	0.20	6.57	5.83	6.17	0.37
2018	1.51	1.38	1.48	0.31	6.85	6.54	6.51	0.39	3.10	2.90	2.87	0.32	4.22	5.04	3.73	0.33
2019	1.26	1.26	1.22	0.13	6.55	6.32	6.46	0.32	3.91	3.52	3.66	0.36	5.22	4.48	4.66	0.35
2020	2.13	2.16	2.16	0.21	8.19	7.97	8.24	0.59	3.04	3.10	3.09	0.45	6.29	5.95	6.01	0.30
2021	3.01	2.99	3.12	0.29	5.17	5.37	5.41	0.34	2.49	2.14	2.81	0.35	4.47	3.81	3.99	0.29
Average	2.10	2.03	2.05	0.26	5.79	5.85	5.90	0.38	3.09	3.05	3.16	0.32	4.79	4.73	4.67	0.34

* P – plowing; SL – shallow non-shaft loosening; DL – deep non-shaft loosening; LSD – the least significant difference at 5 % significance level.

Таблица 5
Запасы продуктивной влаги и урожайность полевых культур в среднем по способам основной обработки почвы (2006–2021 гг.)

Годы исследований	Запасы продуктивной влаги в слое 0–100 см, мм		Урожайность культур севооборота, т/га			
	На период посева	На период уборки	Горох на зерно	Озимая пшеница	Подсолнечник	Яровой ячмень
2006	165	127	2,35	2,44	3,82	6,08
2007	169	120	1,04	6,12	3,89	3,18
2008	186	119	1,96	6,00	4,02	7,19
2009	167	71	2,33	5,83	2,50	4,02
2010	155	67	1,57	2,72	2,64	2,50
2011	181	125	1,86	6,81	2,60	4,64
2012	184	89	2,06	2,95	2,97	5,00
2013	166	80	0,85	6,12	2,41	3,41
2014	159	99	2,94	7,35	3,43	4,88
2015	179	83	2,09	6,00	3,04	3,96
2016	151	96	2,28	5,58	3,40	5,31
2017	179	71	3,68	9,12	2,63	6,19
2018	162	163	1,46	6,63	2,96	4,33
2019	170	41	1,25	6,44	3,70	4,79
2020	132	87	2,15	8,13	3,08	6,08
2021	145	58	3,04	5,32	2,48	4,09
Среднее	166	93	2,06	5,85	3,10	4,73

Table 5
Reserves of productive moisture and yields of field crops on average by methods of basic tillage (2006–2021)

Years of research	Reserves of productive moisture in the layer 0–100 cm, mm		Crop rotation yield, t/ha			
	For the sowing period	For the harvest period	Peas for grain	Winter wheat	Sunflower	Spring barley
2006	165	127	2.35	2.44	3.82	6.08
2007	169	120	1.04	6.12	3.89	3.18
2008	186	119	1.96	6.00	4.02	7.19
2009	167	71	2.33	5.83	2.50	4.02
2010	155	67	1.57	2.72	2.64	2.50
2011	181	125	1.86	6.81	2.60	4.64
2012	184	89	2.06	2.95	2.97	5.00
2013	166	80	0.85	6.12	2.41	3.41
2014	159	99	2.94	7.35	3.43	4.88
2015	179	83	2.09	6.00	3.04	3.96
2016	151	96	2.28	5.58	3.40	5.31
2017	179	71	3.68	9.12	2.63	6.19
2018	162	163	1.46	6.63	2.96	4.33
2019	170	41	1.25	6.44	3.70	4.79
2020	132	87	2.15	8.13	3.08	6.08
2021	145	58	3.04	5.32	2.48	4.09
Average	166	93	2.06	5.85	3.10	4.73

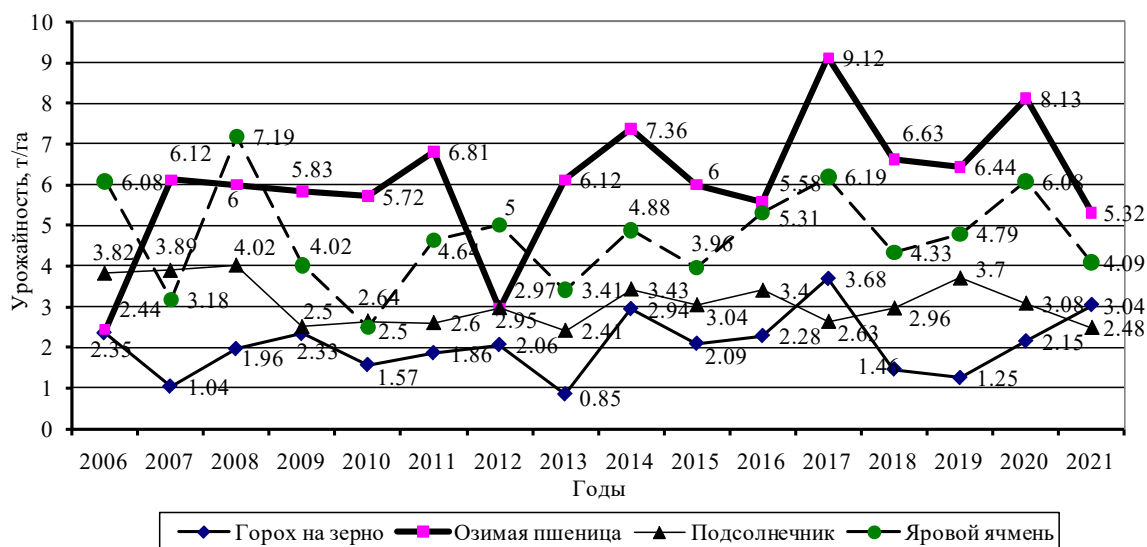


Рис. 11. Урожайность культур севооборота в среднем по способам основной обработки почвы, т/га (2006–2021 гг.)

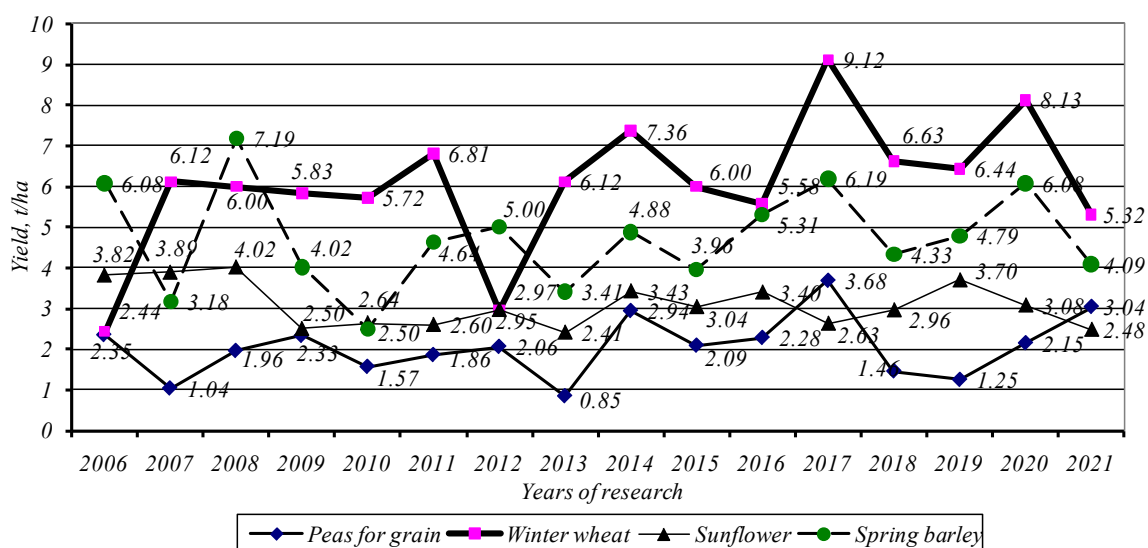


Fig. 11. Crop rotation yield on average by methods of basic tillage, t/ha (2006–2021)

Яровой ячмень в годы исследований, так же как и озимая пшеница, имел неустойчивые показатели урожайности. В период с 2011 года по 2021 год разница между минимальным и максимальным сбором зерна у этой культуры составляла 1,5–2,0 тонны с 1 га. За время ведения опыта наибольшей величины его зерновая продуктивность достигала в 2008 году (7,19 т/га), а наименьшее значение этот показатель имел в 2010 году (2,50 т/га).

Средняя урожайность зернобобовой культуры севооборота гороха на зерно была на уровне 2,0 т/га, при этом складывающиеся погодные условия во время вегетации также не позволяли получать стабильные сборы его зерна. Максимальный урожай гороха (3,68 т/га), как и озимой пшеницы и ярового ячменя, был получен в 2017 году, а минимальный (0,85 т/га) – в 2013 году. За время исследований низкая урожайность гороха около 1 тонны с 1 га была еще два раза. И в эти годы, как и в

2013 году, наблюдались сложные для данной культуры гидротермические условия в период формирования урожая, а именно высокие дневные температуры в сочетании с низкой влажностью воздуха.

Подсолнечник 8 лет из 16 имел урожайность в пределах 2,41–2,96 т/га, 5 лет – 3,40–3,89 т/га, два года – 3,04–3,08 т/га и только один раз (в 2008 году) его урожай превысил четыре тонны и составлял 4,02 т/га. При этом урожай ближе к четырем тоннам с одного гектара был в течение трех лет в начале анализируемого периода, в 2006, в 2007 и в 2008 году. В тоже время урожайность порядка 3,5 т/га наблюдалась как в середине, так и в конце шестнадцатилетнего цикла, причем иногда даже при среднегодовом дефиците осадков. То есть формирование урожая подсолнечника больше зависело от погодных условий в критические фазы его развития, чем от среднегодовых климатических показателей и содержания продуктивной влаги в почве на момент его посева и уборки.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

При наблюдаемых изменениях климата на территории Белгородской области, выразившихся в повышении температуры воздуха, снижении количества атмосферных осадков и участившихся случаях экстремальных проявлений погоды, с учетом рассмотренных материалов проведенных опытов по изучению динамики запасов продуктивной почвенной влаги можно заключить, что независимо от способа основной обработки почвы имеется устойчивый тренд по ее снижению во всем метровом слое на время как посева, так и уборки культур. При этом наиболее существенное уменьшение запасов продуктивной влаги в почве до 35–43 % наблюдается при полной спелости культур.

Прямой корреляции между запасами доступной растениям влаги в метровом слое почвы на время их посева и уборки с величиной урожайности не установлено. Также не обнаружено четкой зависимости продуктивности культур от среднегодовых погодных показателей. Наибольшее влияние на урожай гороха, озимой пшеницы, подсолнечника и ярового ячменя оказывали погодные условия, которые складывались во время их вегетации, особенно в критические фазы развития. В то же время средняя урожайность культур за 16 лет практически не зависела от способа основной обработки почвы под них.

Библиографический список

1. О Федеральной научно-технической программе в области экологического развития и климатических изменений на 2021–2030 годы [Электронный ресурс]. URL: <https://vfanc.ru/federalnaya-nauchno-tehnicheskaya-programma-v-oblasti-ekologicheskogo-razvitiya-i-klimaticheskikh-izmenenij-na-2021-2030-gody> (дата обращения: 14.07.2022).
2. Прогноз научно-технического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. Москва: НИУ ВШЭ, 2017. 140 с.
3. Новикова Е. П., Григорьев Г. Н., Вагури И. Ю., Чумейкина А. С. Вариации гидротермического режима в Черноземье за последние 30 лет на фоне глобального изменения климата // Научные ведомости БелГУ. 2017. № 11 (260). Вып. 39. С. 105–113.
4. Кноблаух Ш. Не уходи на глубину // Новое сельское хозяйство : журнал агроменеджера. 2021. № 5. С. 56–59.
5. Смуров С. И., Григоров О. В., Беликов Д. П. Динамика физико-химических свойств почвы в зависимости от ресурсосберегающих технологий // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. № 4 (20). С. 152–161.
6. Есаулко А. Н., Дрепа Е. Б., Ожередова А. Ю., Голосной Е. В. Эффективность применения технологии No-till в различных климатических зонах Ставропольского края // Земледелие. 2019. № 7. С. 28–31. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10707.
7. Смуров С. И., Григоров О. В., Беликов Д. П. Мониторинг запасов влаги в почве по различным технологиям возделывания озимой пшеницы и в прилегающих лесу и лесополосе // Белгородский агромир. 2017. № 7 (109). С. 7–9.
8. Букин О. В., Бочкарев Д. В., Никольский А. Н. Влияние приемов основной обработки почвы на урожайность и качество гороха посевного в условиях лесостепи европейской части России // Вестник АГАУ. 2020. №10 (192). С. 28–34.
9. Благополучная О. А., Девтерова Н. И. Нетрадиционные энергосберегающие способы обработки почв тяжелого механического состава в звене севооборота // Новые технологии. 2020. Вып. 1 (51). С. 124–131. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10113.
10. Чернов О. С. Влияние систем обработки на агрофизические показатели серой лесной почвы и урожайность культур // Владимирский земледелец. 2020. № 1. С. 12–17. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10102.
11. Турусов В. И., Гармашов В. М. Эффективность различных приемов и систем основной обработки почвы в звене севооборота горох – озимая пшеница в условиях юго-востока ЦЧР // Земледелие. 2018. № 4. С. 9–14. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10403.
12. Шабалкин А. В., Воронцов В. А., Скорочкин Ю. П. Влияние обработки почвы в комплексе с применением удобрений и гербицидов на урожайность, качество семян сои и экономическую эффективность // Масличные культуры. 2019. Вып. 1 (177). С. 55–59. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-1-177-55-59.
13. Ивенин В. В., Минеева Н. А., Борисов Н. А., Шубина К. В., Ивенин А. В. Сравнительная оценка различных технологий возделывания яровой пшеницы и их экономическая эффективность в условиях Волго-Вятского региона // Известия ОГАУ. 2019. № 6 (80). С. 53–57.
14. Акчурин Р. Л., Чанышев И. О., Нафиков Р. К., Низаева А. А. Продуктивность зерновых и зернобобовых культур при различных способах обработки почвы // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 8. С. 14–17. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10803.
15. Сафроновская Г. Почвенная влага и минеральное питание: расставляем акценты [Электронный ресурс]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/pochvennaya-vlaga-i-mineralnoe-pitanie> (дата обращения: 14.07.2022).

16. Влажность почвы и применение удобрений [Электронный ресурс]. URL: <https://www.activestudy.info/vlazhnost-pochvy-i-primenenie-udobrenij> (дата обращения: 14.07.2022).

Об авторах:

Сергей Иванович Смуров¹, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией по изучению систем земледелия, ORCID 0000-0003-0014-8622, AuthorID 863886; +7 903 024-11-15, smurov_si@bsaa.edu.ru

Олег Владимирович Григоров¹, ведущий специалист лаборатории по изучению систем земледелия, ORCID 0000-0002-9314-4737, AuthorID 925390; +7 905 171-85-06, ogrigorov@mail.ru

Семен Николаевич Ермолаев¹, агроном лаборатории по изучению систем земледелия,

ORCID 0000-0001-6553-5928, AuthorID 1076768; +7 904 093-09-50, semyon.nikolaevich@mail.ru

¹ Белгородский государственный аграрный университет, Белгород, Россия

The influence of climate change on crop yields and soil moisture reserves

S. I. Smurov¹✉, O. V. Grigorov¹, S. N. Ermolaev¹

¹ Belgorod State Agrarian University, Belgorod, Russia

✉ E-mail: info@bsaa.edu.ru

Abstract. The aim of the research is to study the influence of the changed climatic conditions of the Belgorod region on the reserves of productive moisture in the soil and the yield of field crops using various methods of basic tillage. **Research methods.** Based on our own long-term research, the analysis of the effect of the increase in air temperature and the decrease in precipitation per year on soil moisture reserves and crop yields under various methods of basic tillage is made. **Scientific novelty.** An overview of the changes in the climatic conditions of growing field crops in the Belgorod region that have occurred in recent decades is given. **Results.** Agrometeorological observations have shown that in the period from 2006 to 2021, the air temperature in the surface layer increased, and the amount of precipitation decreased. Cases of extreme weather manifestations have become more frequent. Observations of the dynamics of moisture in a meter layer of soil in a stationary experiment determined that the climate changes that have occurred have affected its reserves. So at the time of sowing crops, there was a decrease in the amount of moisture in the soil by 15 % of the average over the years, and when the crops were fully ripe, it decreased by 35–43 %, without significant connection with the methods of basic tillage. The influence of extreme weather manifestations during the period of crop formation on crop yields is noted. According to the results of the research, it was concluded that there is a steady trend of decreasing moisture reserves in the meter layer of the soil, both at the time of sowing and during harvesting, regardless of the method of its main processing. There is no direct connection between the yield of field crops and the reserves of moisture available to plants at the time of their sowing and harvesting in the meter layer of soil and the method of its main processing.

Keywords: climate, average annual air temperature, precipitation, soil moisture, methods of basic tillage, field crops, yield.

For citation: Smurov S. I., Grigorov O. V., Ermolaev S. N. Vliyanie izmeneniy klimata na urozhaynost' kul'tur i zapasy pochvennoy vlagi [The influence of climate change on crop yields and soil moisture reserves] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 05 (234). Pp. 35–52. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-35-52. (In Russian.)

Date of paper submission: 24.08.2022, **date of review:** 06.12.2022, **date of acceptance:** 08.12.2022.

References

1. О Федеральном научно-техническом programme в области экологического развития и климатических изменений на 2021–2030 годы [About the Federal Scientific and Technical program in the field of environmental development and climate change for 2021–2030] [e-resource]. URL: <https://vfanc.ru/federalnaya-nauchno-tehnicheskaya-programma-v-oblasti-ekologicheskogo-razvitiya-i-klimaticheskikh-izmenenij-na-2021-2030-gody> (date of reference: 14.07.2022). (In Russian.)
2. Prognoz nauchno-tehnicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda [Forecast of scientific and technical development of the agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030]. Moscow: NIU VShE, 2017. 140 p. (In Russian.)
3. Novikova E. P., Grigor'ev G. N., Vagurin I. Yu., Chumeykina A. S. Variatsii gidrotermicheskogo rezhima v Chernozem'e za poslednie 30 let na fone global'nogo izmeneniya klimata [Variations of the hydrothermal regime

in the Chernozem region over the past 30 years against the background of global climate change] // Nauchnye vedomosti BelGU. 2017. No. 11 (260). Iss. 39. Pp. 105–113. (In Russian.)

4. Knoblaugh Sh. Ne ukhodi na glubinu [Don't go deep] // Novoe sel'skoe khozyaystvo : zhurnal agromenedzhera. 2021. No. 5. Pp. 56–59. (In Russian.)

5. Smurov S. I., Grigorov O. V., Belikov D. P. Dinamika fiziko-khimicheskikh svoystv pochvy v zavisimosti ot resursosberegayushchikh tekhnologiy [Dynamics of physical and chemical properties of soil depending on resource-saving technologies] // Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2018. No. 4 (20). Pp. 152–161. (In Russian.)

6. Esaulko A. N., Drepa E. B., Ozheredova A. Yu., Golosnoy E. V. Effektivnost' primeneniya tekhnologii No-till v razlichnykh klimaticheskikh zonakh Stavropol'skogo kraya [The effectiveness of the No-till technology in various climatic zones of the Stavropol Territory] // Zemledelie. 2019. No. 7. Pp. 28–31. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10707. (In Russian.)

7. Smurov S. I., Grigorov O. V., Belikov D. P. Monitoring zapasov vlagi v pochve po razlichnym tekhnologiyam vozdeleyvaniya ozimoy pshenitsy i v prilgayushchikh lesu i lesopolose [Monitoring of moisture reserves in the soil by various technologies of winter wheat cultivation and in the adjacent forest and forest belt] // Belgorodskiy agromir. 2017. No. 7 (109). Pp. 7–9. (In Russian.)

8. Bukin O. V., Bochkarev D. V., Nikol'skiy A. N. Vliyanie priemov osnovnoy obrabotki pochvy na urozhaynost' i kachestvo gorokha posevnogo v usloviyakh lesostepi evropeyskoy chasti Rossii [The influence of basic tillage techniques on the yield and quality of seeded peas in the conditions of the forest-steppe of the European part of Russia] // Vestnik AGAU. 2020. No. 10 (192). Pp. 28–34. (In Russian.)

9. Blagopoluchnaya O. A., Devterova N. I. Netraditsionnye energosberegayushchie sposoby obrabotki pochv tyazhelogo mekhanicheskogo sostava v zvene sevooborota [Unconventional energy-saving methods of soil treatment of heavy mechanical composition in the link of crop rotation] // Novye tekhnologii. 2020. Vol. 1 (51). Pp. 124–131. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10113. (In Russian.)

10. Chernov O. S. Vliyanie sistem obrabotki na agrofizicheskie pokazateli seroy lesnoy pochvy i urozhaynost' kul'tur [The influence of processing systems on agrophysical indicators of gray forest soil and crop yields] // Vladimir agriculturalist. 2020. No. 1. Pp. 12–17. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10102. (In Russian.)

11. Turusov V. I., Garmashov V. M. Effektivnost' razlichnykh priemov i sistem osnovnoy obrabotki pochvy v zvene sevooborota gorokh – ozimaya pshenitsa v usloviyakh yugo-vostoka TsChR [Efficiency of Different Methods and Systems of Tillage in Crop Rotation Section “Pea – Winter Wheat” under Conditions of the Southeast of the Central Chernozem Zone] // Zemledelie. 2018. No. 4. Pp. 9–14. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10403. (In Russian.)

12. Shabalkin A. V., Vorontsov V. A., Skorochkin Yu. P. Vliyanie obrabotki pochvy v komplekse s primeneniem udobreniy i gerbitsidov na urozhaynost', kachestvo semyan soi i ekonomicheskuyu effektivnost' [The effect of tillage in combination with the use of fertilizers and herbicides on the yield, quality of soybean seeds and economic efficiency] // Oil Crops. 2019. Vol. 1 (177). Pp. 55–59. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-1-177-55-59. (In Russian.)

13. Ivenin V. V., Mineeva N. A., Borisov N. A., Shubina K. V., Ivenin A. V. Sravnitel'naya otsenka razlichnykh tekhnologiy vozdeleyvaniya yarovoy pshenitsy i ikh ekonomicheskaya effektivnost' v usloviyakh Volgo-Vyatskogo regiona [Comparative evaluation of various technologies of spring wheat cultivation and their economic efficiency in the conditions of the Volga-Vyatka region] // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 6 (80). Pp. 53–57. (In Russian.)

14. Akchurin R. L., Chanyshv I. O., Nafikov R. K., Nizaeva A. A. Produktivnost' zernovykh i zernobobovykh kul'tur pri razlichnykh sposobakh obrabotki pochvy [Effect of Various Tillage Methods on Productivity of Grain and Leguminous Crops] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2019. Vol. 33. No. 8. Pp. 14–17. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10803. (In Russian.)

15. Safronovskaya G. Pochvennaya vlaga i mineral'noe pitanie: rasstavlyaem aktsenty [Soil moisture and mineral nutrition: we place accents] [e-resource]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/pochvennaya-vlaga-i-mineralnoe-pitanie> (date of reference: 14.07.2022). (In Russian.)

16. Vlazhnost' pochvy i primeneniye udobreniy [Soil moisture and fertilizer application] [e-resource]. URL: <https://www.activestudy.info/vlazhnost-pochvy-i-primeneniye-udobrenij> (date of reference: 14.07.2022). (In Russian.)

Authors's information:

Sergey I. Smurov¹, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory for the study of farming systems, ORCID 0000-0003-0014-8622, AuthorID 863886; +7 903 024-11-15, smurov_si@bsaa.edu.ru

Oleg V. Grigorov¹, leading specialist of the laboratory for the study of farming systems, ORCID 0000-0002-9314-4737, AuthorID 925390; +7 905 171-85-06, ogrigorov@mail.ru

Semen N. Ermolaev¹, agronomist of the laboratory for the study of farming systems, ORCID 0000-0001-6553-5928, AuthorID 1076768; +7 904 093-09-50, semyon.nikolaevich@mail.ru

¹ Belgorod State Agrarian University, Belgorod, Russia