

УДК 631.432.24: 631.445.41:631.559:633.63(470.32)

РЕЖИМ ВЛАЖНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ РАЗНЫХ ПОГОДНЫХ И АГРОТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ В ЦЧР

© 2023 г. О. К. Боронтов¹, П. А. Косякин^{1,*}, Е. Н. Манаенкова¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова
396030 Воронежская обл., Рамонский р-н, п. ВНИИСС, 86, Россия

*E-mail: kosyakinp@mail.ru

Поступила в редакцию 15.02.2023 г.

После доработки 03.03.2023 г.

Принята к публикации 15.04.2023 г.

Эффективность использования влаги и урожайность сахарной свеклы увеличивались при применении удобрений, комбинированной обработки почвы и увеличении коэффициента увлажнения (по Иванову) за 2 мес. до уборки. Более благоприятный режим влажности почвы и меньшая плотность сложения в посевах сахарной свеклы складывались в условиях высокого увлажнения при комбинированной обработке почвы. Лучшие технологические качества корнеплодов определены при среднем увлажнении и комбинированной обработке. Доля влияния погодных условий на урожайность культуры составила 51, удобрений — 30, обработки почвы — 3%. Наибольшая урожайность сахарной свеклы (48.3–48.5 т/га), энергетическая эффективность (4.6) и рентабельность производства (95%) установлены при разноглубинной отвальной и комбинированной обработках почвы в севообороте, внесении удобрений и высоком увлажнении почвы.

Ключевые слова: сахарная свекла, обработки почвы, удобрения, метеорологические условия, влажность, плотность сложения, чернозем выщелоченный, урожайность, технологические качества, энергетическая эффективность.

DOI: 10.31857/S0002188123080033, **EDN:** ZDLAZB

ВВЕДЕНИЕ

При обсуждении результатов исследования часто делают выводы, не учитывая влияние погодных условий [1–6]. Однако известно, что их влияние на продуктивность культур высоко, о чем свидетельствуют изменения урожайности сельскохозяйственных культур по годам [7–10].

О влиянии способа обработки почвы, удобрений и осадков вегетационного периода на водный режим чернозема уже сообщали [11]. Однако величины прямого влияния отдельных факторов и их сочетаний на качество и продуктивность сахарной свеклы в Центрально-Черноземном регионе в разных погодных условиях подвержены не только влиянию количества осадков, но и влажности воздуха, температурного режима, агрохимических и агрофизических свойств почвы.

Цель работы — изучение влияния систем обработки почвы и удобрений на режим влажности чернозема выщелоченного, урожайность и качество сахарной свеклы в различных погодных условиях.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в стационарном опыте “Система обработки почвы в сочетании с удобрением и другими средствами химизации культур в зерносвекловичном севообороте”, который проводит Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова с 1987 по 2020 г. в 9-польном плодосменном севообороте со следующим чередованием культур: черный пар—озимая пшеница—сахарная свекла—ячмень с подсевом клевера—клевер на 1 укос—озимая пшеница—сахарная свекла—однолетние травы—кукуруза на зеленый корм.

Изучены 3 системы основной обработки почвы: А — разноглубинная отвальная обработка под все культуры в севообороте: под кукурузу и черный пар на глубину 25–27 см, под ячмень, озимую пшеницу после клевера, однолетние травы — на глубину 20–22 см, под сахарную свеклу — обработка по схеме улучшенной зяби (дисковое лушение на 6–8 см, плоскорезное рыхление на 12–14 см,

затем вспашка на 30–32 см); Г — безотвальная (плоскорезная) обработка под все культуры в севообороте: под кукурузу и черный пар — на глубину 25–27 см, под озимую пшеницу после клевера, ячмень, однолетние травы — на глубину 20–22 см, под сахарную свеклу — обработка по схеме улучшенной зяби (дисковое лушение на 6–8 см, плоскорезное рыхление на 12–14 см, затем глубокая плоскорезная обработка на глубину 30–32 см); Д — комбинированная (отвально-безотвальная) обработка в севообороте: отвальная обработка под кукурузу и черный пар на глубину 25–27 см, плоскорезная обработка под озимую пшеницу, высеваемую после клевера, однолетние травы, ячмень — на глубину 20–22 см, под сахарную свеклу — улучшенная отвальная зябь (дисковое лушение на 6–8 см, плоскорезное рыхление на 12–14 см, затем вспашка на 30–32 см).

Влияние основной обработки почвы изучали на удобренном (контроль) и удобренном фоне, где вносили: навоз 50 т/га в черном пару и навоз 50 т/га под сахарную свеклу в звене с клевером. Минеральные удобрения применяли под озимую пшеницу, высеваемую после клевера (N60P60K60), под ячмень — N40P40K40, под однолетние травы — N20P20K20, подкормка клевера — N20P20K20, под кукурузу — N80P80K80, под сахарную свеклу в звене с черным паром — N160P160K160, в звене с клевером — N150P150K150. Всего вносили N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади. Площадь делянки 110 м², учетной — 13.5 м², повторность трехкратная.

Для основной обработки почвы использовали плуг ПН-4-35, плоскорез КПП-250, лушильники ЛДГ-10 и БДТ-3. В качестве минерального удобрения применяли нитроаммофоску (16 : 16 : 16), вносили РУМ-500. Агротехника возделывания — общепринятая для ЦЧЗ, при которой сорные растения уничтожали почвенными гербицидами. Посев сахарной свеклы проводили районированными гибридами и сортами в 1-й декаде мая, уборку — в 3-й декаде сентября.

В течение вегетационного периода в посевах сахарной свеклы отбирали образцы почвы и определяли: влажность — весовым методом (ГОСТ 26268-89); плотность сложения — методом цилиндров по Качинскому [12], урожайность сахарной свеклы — по методике ВНИС [13], технологические качества сахарной свеклы — по Силину [14], энергетическую оценку — по методике ВАСХНИЛ [15], экономическую эффективность — по методике РАСХН [16], статистическую обработку — по [17].

Почва стационарного опыта — чернозем выщелоченный малогумусный среднесильноглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое составляло 5.4–5.7%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольший коэффициент корреляции — 0.73 установлен между урожайностью и коэффициентом увлажнения в августе–сентябре. Корреляция между урожайностью сахарной свеклы и другими погодными факторами (осадки вегетационного периода, суммарное водопотребление, ГТК за вегетационный период и за август–сентябрь) составили 0.26–0.64. Это происходило за счет перераспределения количества осадков на 2-ю половину вегетации, особенно на август, что является наиболее критическим периодом по потребности сахарной свеклы во влаге [18].

Установлены 3 группы лет: первая группа (низкое увлажнение) имела следующие показатели благоприятного влияния на урожайность сахарной свеклы: коэффициент увлажнения за 2 мес до уборки культуры составил 0.4, количество осадков за год — 578 мм, за вегетацию — 276 мм, варьирование урожайности сахарной свеклы в контроле — от 10.9 до 26.2 т/га, в удобренном варианте — от 19.3 до 34.5 т/га. Средняя прибавка от применения удобрений составила 50%. В группе оказалось 11 лет (1988, 1991, 1994, 1998, 1999, 2004, 2009, 2010, 2014, 2015, 2019) или 34%, которая характеризовалась низкой температурой мая — 15.5°C, высокой температурой июля и августа — 21–22°C. Количество осадков в мае составило 72, в июне — 80, в июле — 52 мм в августе — 48, в сентябре — 30 мм, что составило 167, 115, 70, 89 и 52% от среднегодовых показателей соответственно.

Вторая результативная группа лет (среднее увлажнение) сформирована при коэффициенте увлажнения 0.9. Количество осадков за вегетационный период — 320 мм, за год — 641 мм. Варьирование урожайности составило: без удобрений — 18.5–30.3 т/га, при их применении — 31.0–39.8 т/га. В группе 12 лет (1987, 1990, 1993, 1995, 1996, 1997, 2000, 2001, 2005, 2006, 2011, 2016, 2020) или 38%. За первую и вторую половину вегетации выпало примерно равное количество осадков — в мае — 52, в июне — 79, в июле — 53, в августе — 60, в сентябре — 79 мм, что составило 121, 113, 71, 111 и 136% от среднегодовых показателей соответственно. Температурный режим характеризовался более умеренными показателями — 19–21°C.

Третья группа лет исследования (высокое увлажнение) характеризовалась следующими показателями (9 лет исследований — 1989, 1992,

Таблица 1. Динамика общих запасов почвенной влаги в посевах сахарной свеклы, мм (послойно, см)

K _y	Система		Период вегетации								
	обработки	удобрения	посев			середина			уборка		
			0—30	0—50	0—100	0—30	0—50	0—100	0—30	0—50	0—100
0.4	А	0	75.6	142	297	—	—	—	71.3	122	252
		NPK	89.8	156	322	65.4	116	270	72.8	122	246
	Г	0	72.6	145	304	—	—	—	76.1	134	266
		NPK	86.9	158	328	67.2	128	280	72.1	129	266
	Д	0	79.9	147	301	—	—	—	72.7	127	258
		NPK	85.2	151	306	61.8	107	238	70.5	121	243
0.9	А	0	66.4	147	301	51.7	110	239	69.1	133	274
		NPK	83.4	148	309	59.3	105	233	76.1	145	253
	Г	0	81.7	159	317	64.7	102	257	65.4	146	296
		NPK	85.4	153	311	60.5	115	248	66.3	142	273
	Д	0	77.4	140	301	60.4	103	210	66.4	139	271
		NPK	82.0	149	307	57.2	96.8	214	77.8	134	264
1.5	А	0	76.3	139	295	59.4	108	244	70.4	132	288
		NPK	72.8	139	300	60.3	110	259	77.7	138	279
	Г	0	76.6	141	301	63.7	115	263	70.7	134	294
		NPK	80.2	150	302	68.3	115	274	77.8	144	296
	Д	0	78.0	142	295	62.1	110	247	69.3	131	280
		NPK	78.3	137	290	57.7	106	249	75.9	134	279
HCP ₀₅				7	22		5	18		9	20

2002, 2003, 2007, 2008, 2012, 2013, 2017, 2018, что составило 28%): коэффициент увлажнения — 1.5, количество осадков за год — 683 мм, вегетационного периода — 360 мм. Урожайность контроля по годам составляла 24.9–46.7 т/га, с применением удобрений — 38.7–54.8 т/га. В третьей группе температурный режим соответствовал первой группе: в мае температура составила 17°C, в июне — 20°C, в июле — 22°C, в августе — 21°C, в сентябре — 15°C. Количество осадков за май–июнь было равно 30 мм, или 70% от среднееголетних показателей, в августе увеличилось до 82 мм, или до 152%, за сентябрь — до 92 мм, или 159% соответственно.

Изучение влажности почвы в весенний период показало, что в слое 0–30 см содержалось влаги 66.4–89.8 мм, в слое 0–50 см — 130–159 мм, в слое 0–100 см — 290–328 мм (табл. 1). В этот срок определения не обнаружено влияние обработки почвы и условий увлажнения на запас влаги. В слое почвы 0–100 см при низком и среднем коэффициенте увлажнения отмечена тенденция к увеличению запасов влаги при безотвальной обработке почвы на 5–6%.

При оценке запасов влаги в середине вегетации сахарной свеклы установлено, что значительные показатели в 1-метровом слое почвы были

при безотвальной обработке почвы: при низком увлажнении — 280 мм, при среднем — 257 мм, при высоком — 274 мм. Более низкие запасы влаги в почве оказались при комбинированной обработке почвы — 210–214 мм при среднем увлажнении, 238 мм — при низком увлажнении и 247–249 мм — при высоком коэффициенте увлажнения.

Таким образом, за первую половину вегетационного периода уже наблюдали различия в режиме влажности почвы. Это подтвердили расчеты водопотребления сахарной свеклы за счет запасов почвенной влаги. Наибольший расход почвенной влаги из слоя 0–100 см составил 90.5–92.4 мм при комбинированной обработке почвы и среднем увлажнении, наименьший — 28.1–36.9 мм — при безотвальной обработке почвы и высоким увлажнении. Расход влаги почвы из слоя 0–50 см варьировал от 25.9 до 52.1 мм. В среднем он составил в удобренных вариантах 38.4 мм при низком увлажнении, 44.5 мм — при среднем, и 31.4 мм — при высоком. При среднем увлажнении водопотребление за счет запасов почвенной влаги в удобренных вариантах повышалось, а при высоком — уменьшалось на 20–25%.

При уборке сахарной свеклы условия увлажнения за август–сентябрь значительно повлияли на

Таблица 2. Водопотребление сахарной свеклы

K_y	Система		Водопотребление				Коэффициент, мм/т	
	обработки	удобрения	суммарное, мм/га	в т.ч. за счет почвенных запасов, послойно, см			водопотребления	транспирации
				0–50	0–100	% к суммарному		
0.4	А	0	295	21	45	15	14.2	37.5
		NPK	330	33	80	24	10.1	28.7
	Г	0	288	11	38	13	15.5	40.7
		NPK	302	30	52	17	11.1	31.6
	Д	0	292	20	42	14	14.9	37.5
		NPK	314	30	64	20	10.1	26.4
0.9	А	0	347	0	27	8	12.7	38.5
		NPK	377	2	57	15	10.4	26.6
	Г	0	341	10	21	6	13.8	40.0
		NPK	358	12	38	11	10.2	27.9
	Д	0	349	1	29	8	13.6	40.0
		NPK	364	14	44	12	10.1	27.0
1.5	А	0	366	6	6	2	9.7	36.5
		NPK	367	1	7	2	7.6	21.3
	Г	0	366	6	6	2	10.5	32.3
		NPK	369	6	9	2	8.5	23.5
	Д	0	375	11	15	4	10.1	29.0
		NPK	372	3	12	3	7.7	20.5

запас влаги в почве. При низком увлажнении запасы влаги в слое почвы 0–100 см составили 243–276 мм, при среднем – 264–296 мм, или увеличились на 6%, при высоком – 279–294 мм, или на 12% соответственно. Больше всего запасов влаги в почве оказалось при безотвальной обработке почвы – 266–296 мм. Корреляция между коэффициентом увлажнения (K_y) в августе–сентябре и показателями водопотребления сахарной свеклы была сильной (0.88–0.99).

Большое влияние условия увлажнения оказали на суммарное водопотребление сахарной свеклы – оно изменялось под влиянием погодных условий и агротехнических приемов возделывания. При K_y , равном 0.4, оно составляло без удобрений 314–321 мм, при K_y , равном 0.9, – 360–397 мм (табл. 2).

Системы обработки почвы влияли на суммарное водопотребление при низком и среднем увлажнении, а при высоком не изменяли водопотребление сахарной свеклы. При низком и среднем увлажнении и безотвальной обработке почвы с применением удобрений суммарное водопотребление составило 302 и 358 мм соответствен-

но, что на 6% меньше, чем при разноглубинной отвальной обработке.

Различия в водопотреблении объясняются способностью растений использовать запасы почвенной влаги. При низком увлажнении они использовали влагу почвенных слоев в количестве 38–80 мм, или 13–24% от суммарного водопотребления, при среднем увлажнении – 21–57 мм, или 6–15%, при высоком увлажнении – 6–15 мм, или 2–4% соответственно. Следовательно, чем засушливее погодные условия, тем большее количество запасов почвенной влаги используется.

При низком и среднем увлажнении большее водопотребление, в том числе за счет почвенной влаги, наблюдали при разноглубинной отвальной обработке почвы. Наименьшее использование влаги почвенных слоев приходилось на безотвальную обработку почвы. При разноглубинной отвальной обработке без удобрений при низком увлажнении из 1-метрового слоя почвы было использовано 45 мм влаги, при безотвальной обработке – 38 мм, или на 16% меньше. При высоком увлажнении водопотребление не изменялось под влиянием обработки и удобрений. Установлено, что при низком и среднем увлажнении приме-

ненные удобрения на 5–12% увеличивали водопотребление сахарной свеклы.

Коэффициент водопотребления при увлажнении 0.4 составил без удобрений 14.2–15.1 мм/т, а с их использованием — 10.1–11.1 мм/т, или снижался на 29–32%. При среднем увлажнении (0.9) коэффициент водопотребления составил в контроле 12.7–13.8 мм/т, при использовании удобрений снизился на 18–26%. При высоком увлажнении (1.5) коэффициент водопотребления составил 9.7–11.5 мм/т в контроле, и 7.6–8.5 мм/т — при применении удобрений (снижение на 22–26%). Самый низкий коэффициент водопотребления отмечен при применении удобрений, комбинированной и разноглубинной отвальной обработках почвы при любых условиях увлажнения.

Коэффициент транспирации составил 20.5–40.7 мм/т. В среднем, при коэффициенте увлажнения 0.4 он был равен 33.7 мм/т, при 0.9–33.3 мм/т, при 1.5–27.2 мм/т. Изменения в величине коэффициента транспирации были такими же, как и коэффициента водопотребления. Самый большой коэффициент транспирации 40.0–40.7 мм/т был при безотвальной обработке почвы в контроле при низком и среднем увлажнении. При высоком увлажнении коэффициент транспирации снижался на 20% по сравнению с низким увлажнением.

Корреляция между коэффициентом увлажнения и показателями водопотребления сахарной свеклы была сильная и составила: для суммарного водопотребления — 0.88, для коэффициентов водопотребления, транспирации, использования запасов почвенной влаги — 0.95–0.99.

Плотность сложения пахотного слоя почвы является важным показателем физического состояния чернозема. Требования растений к плотности сложения почвы изучены многими исследователями и различны для типов почв и видов растений. Показатели оптимального сложения пахотного слоя почвы варьируют от 0.88 до 1.40 г/см³ [19–22].

Изучение плотности сложения почвы в период вегетации сахарной свеклы выявило, что при посеве плотность сложения зависела от систем обработки почвы и увлажнения. Например, в слое почвы 0–10 см при разноглубинной отвальной обработке плотность сложения составила при низком увлажнении — 1.09, при среднем — 1.03, при высоком — 0.98 г/см³ (табл. 3). Плотность сложения слоя почвы 10–20 см увеличивалась и составляла при разноглубинной отвальной обработке 1.16–1.18, при безотвальной — 1.18–1.27, при комбинированной — 1.13–1.25 г/см³. Отмечено, что наименьшая плотность сложения была при высоком увлажнении.

Подпахотный слой почвы (30–40 см) был самым плотным, его плотность сложения составляла при низком и среднем увлажнении при разноглубинной отвальной обработке 1.25–1.26, при высоком увлажнении — 1.36 г/см³, при безотвальной обработке — 1.29–1.31 и 1.40 г/см³ и при комбинированной — 1.28–1.30 и 1.35 г/см³ соответственно.

Плотность сложения 0–30 см слоя почвы при низком увлажнении составила 1.18–1.20, при среднем — 1.15–1.20, при высоком — 1.09–1.13 г/см³. Следовательно, погодные условия влияли на плотность сложения почвы при посеве сахарной свеклы.

К уборке плотность сложения слоя почвы 0–10 см увеличивалась. Например, при разноглубинной отвальной обработке увеличение составило 1–5%, при безотвальной — 11–17%. Больше уплотнение происходило при высоком увлажнении.

Динамика плотности сложения показала, что в период вегетации сахарной свеклы при разноглубинной отвальной и безотвальной обработках почвы в слоях почвы происходило увеличение показателя, а при комбинированной обработке — снижение, т.е. улучшение строения пахотного слоя чернозема выщелоченного.

Средняя за вегетацию плотность сложения пахотного и подпахотного слоев почвы не изменялась при различных обработках почвы и составила 1.19–1.20 г/см³ — для слоя 0–30 см и 1.27–1.29 г/см³ — для слоя 30–40 см при низком увлажнении. При среднем увлажнении плотность сложения пахотного слоя увеличивалась при безотвальной обработке на 3% по сравнению с комбинированной и разноглубинной отвальной.

При высоком увлажнении средняя плотность сложения пахотного слоя снижалась до 1.13 г/см³ или в среднем на 4% по сравнению с плотностью при низком увлажнении. Самая низкая плотность сложения была при комбинированной обработке, а безотвальная обработка почвы существенно (на 0.05 г/см³) увеличивала показатель.

При высоком увлажнении плотность сложения подпахотного слоя почвы увеличилась, и составила при разноглубинной отвальной обработке 1.35, при безотвальной — 1.36, при комбинированной — 1.32 г/см³.

Более благоприятный режим влажности почвы складывался в условиях высокого увлажнения при комбинированной обработке почвы за счет меньшей плотности сложения, лучшего строения пахотного слоя почвы и большей степени доступности влаги растениям.

Урожайность сахарной свеклы варьировала в широких пределах. Средняя урожайность состав-

Таблица 3. Плотность сложения почвы, г/см³ (вариант с удобрениями), послойно

Система обработки	Слой почвы, см	Коэффициент увлажнения в период вегетации					
		посев			уборка		
		0.4	0.9	1.5	0.4	0.9	1.5
А	0–10	1.09	1.03	0.98	1.14	1.04	1.03
	10–20	1.18	1.19	1.16	1.21	1.25	1.27
	20–30	1.27	1.26	1.18	1.32	1.36	1.33
	0–30	1.18	1.16	1.10	1.22	1.22	1.21
	30–40	1.25	1.26	1.36	1.32	1.27	1.33
Г	0–10	1.00	1.06	0.98	1.11	1.15	1.15
	10–20	1.27	1.24	1.18	1.24	1.21	1.22
	20–30	1.27	1.28	1.24	1.30	1.31	1.31
	0–30	1.18	1.19	1.13	1.22	1.22	1.23
	30–40	1.29	1.31	1.40	1.28	1.27	1.32
Д	0–10	1.02	1.02	0.91	1.06	1.07	1.09
	10–20	1.25	1.25	1.13	1.20	1.13	1.14
	20–30	1.35	1.34	1.22	1.25	1.24	1.26
	0–30	1.20	1.20	1.08	1.17	1.15	1.16
	30–40	1.28	1.30	1.35	1.26	1.28	1.28
<i>HCP</i> ₀₅ для слоя 0–30 см		0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04

ляла от 18.6 т/га в контроле при безотвальной обработке почвы при низком увлажнении до 48.5 т/га при внесении удобрений, разноглубинной отвальной обработке и высоком увлажнении (табл. 4).

Установлено, что при коэффициенте увлажнения за 2 мес до уборки, равном 0.4, средняя урожайность составила 24.9 т/га, при коэффициенте увлажнения 0.9–31.8 т/га, или увеличилась на 28%, при коэффициенте увлажнения 1.5–41.2 т/га, или увеличилась на 65%. При внесении удобрений урожайность сахарной свеклы достоверно увеличивалась в среднем до 37.6 т/га, или на 39%. Безотвальная обработка почвы достоверно на 11% снижала урожайность культуры по сравнению с разноглубинной отвальной и комбинированной обработками, где урожайность составила 33.0–33.8 т/га.

Улучшение условий питания растений сахарной свеклы не только повышало урожайность, но и нивелировало отрицательное влияние недостатка влаги. При разноглубинной отвальной обработке без удобрений при коэффициенте увлажнения 0.4 урожайность составила 20.7 т/га, при коэффициенте 0.9–27.3 т/га, или увеличивалась на 31%, при коэффициенте 1.5–37.6 т/га, или увеличение составило 81%, при внесении удобрений увеличение составляло 11 и 49% соответственно.

Изменения в урожайности корнеплодов на 51% были обусловлены воздействием сложившихся погодных условий (по результатам дисперсионного анализа), на 3% – с обработкой почвы и на 30% были связаны с применением удобрений. Взаимодействие изученных факторов было несущественным. Доля влияния погоды на урожайность сахарной свеклы, полученная в других исследованиях, проведенных в ЦЧР, составляла 40–47% [9, 23, 24], а доля влияния погодных условий на продуктивность культур изменялась от 19% для ячменя до 88% для льна [8]. Следовательно, хорошая обеспеченность растений влагой во 2-й период вегетации является гарантией существенного увеличения урожайности сахарной свеклы и других сельскохозяйственных культур.

Сахаристость сахарной свеклы за годы исследования изменялась от 14.8 до 20.2%, что свидетельствовало о влиянии изученных факторов на данный показатель. Установлено, что наибольшая сахаристость сахарной свеклы была при коэффициенте увлажнения 0.4–17.7–18.3% (средняя – 18.0%). При увеличении увлажнения сахаристость снижалась: при коэффициенте увлажнения 0.9 она составляла 16.9–17.5% (средняя – 17.2%), при коэффициенте увлажнения 1.5–15.9–16.6% (средняя – 16.2%). Наибольшая сахаристость сахарной свеклы при всех условиях увлажнения была при

Таблица 4. Урожайность (над чертой, т/га) и сахаристость (под чертой, %) сахарной свеклы

Система		Коэффициент увлажнения			Среднее обработок $HCP_{05} = \frac{1.4}{0.3}$	Среднее удобрения $HCP_{05} = \frac{1.4}{0.3}$
обработки почвы	удобрения	0.4	0.9	1.5		
А	Контроль	<u>20.7</u>	<u>27.3</u>	<u>37.6</u>	<u>33.8</u>	<u>27.0</u>
		18.3	17.4	16.3	17.1	17.3
	NPK	<u>32.5</u>	<u>36.1</u>	<u>48.5</u>		<u>37.6</u>
		18.0	17.0	16.0		16.8
Г	Контроль	<u>18.6</u>	<u>24.8</u>	<u>31.9</u>	<u>31.2</u>	
		17.9	17.2	16.2	17.0	
	NPK	<u>27.1</u>	<u>35.0</u>	<u>43.5</u>		
		17.7	16.9	15.9		
Д	Контроль	<u>19.6</u>	<u>25.7</u>	<u>37.2</u>	<u>33.0</u>	
		18.2	17.5	16.6	17.2	
	NPK	<u>31.0</u>	<u>36.0</u>	<u>48.3</u>		
		18.0	17.1	16.1		
Среднее (увлажнение) $HCP_{05} = \frac{1.4}{0.4}$		<u>24.9</u>	<u>31.8</u>	<u>41.2</u>		
		18.0	17.2	16.2		

HCP_{05} (частных) обработки — $\frac{2.5}{0.4}$, удобрения — $\frac{2.0}{0.3}$, увлажнения — $\frac{2.4}{0.4}$.

комбинированной обработке почвы в контрольных вариантах, а наименьшая — при безотвальной обработке с внесением удобрений. При низком увлажнении при применении удобрений сахаристость снижалась на 0.2–0.3%, при среднем и высоком увлажнении — на 0.4–0.8%.

Установлено, что хотя наибольшая сахаристость сахарной свеклы была отмечена при низком увлажнении (17.7–18.3%), но соотношение сахаристости и сухих веществ при таком увлажнении составило 64.1–66.9%, что было меньше, чем при среднем увлажнении (67.3–70.0%) (табл. 5). Доброкачественность очищенного сока составила при низком увлажнении 88.1–90.4%, при среднем — 91.4–92.9%, при высоком — 91.2–92.0%. Применение удобрений вело к некоторому снижению доброкачественности на 0.2–0.8%. Системы обработки почвы не повлияли на данный показатель.

Потери сахара в мелассе были минимальными при среднем увлажнении — 1.8–2.1%, самыми большими — при низком увлажнении (3.1–4.0%). При высоком увлажнении потери составили 2.3–2.8%. Безотвальная обработка почвы и примененные удобрения увеличивали потери сахара на 0.1–0.6% по сравнению с другими обработками почвы.

Выход сахара изменялся обратно пропорционально потерям. Наибольший выход сахара 13.8–14.7% был получен при среднем увлажнении. При этом отмечен повышенный коэффициент извлечения сахара из свеклы (82.3–84.0%). Большой выход сахара (14.7%) и коэффициент извле-

чения (84.0%) были при комбинированной обработке почвы в контроле. Выход сахара при низком увлажнении составил 12.7–14.4%, при высоком — 12.1–13.3%.

При низком увлажнении сбор сахара варьировал от 2.4 т/га при безотвальной обработке в контроле до 4.4 т/га при разноглубинной отвальной и комбинированной обработках в удобренном варианте, при среднем увлажнении — от 3.5 до 5.0–5.1 т/га, при высоком — от 4.0 до 6.1 т/га соответственно.

Коэффициент извлечения сахара при низком и высоком увлажнении уменьшался. Установлено, что самый низкий коэффициент извлечения сахара был при безотвальной обработке в удобренном варианте при низком увлажнении — 71.7, при среднем — 84.6, при высоком — 76.1%.

Следовательно, большее извлечение сахара соответствовало средним по увлажнению годам при комбинированной обработке почвы, а меньшее отмечено при низкой увлажненности и безотвальной обработке почвы, что обосновано с различием в химическом составе свекловичного сырья и связанных с этим потерях сахара. Внесенные удобрения снижали извлекаемость сахара ввиду ухудшения технологических качеств. Однако из-за высокой урожайности максимальный выход (сбор) сахара на заводе был при внесении удобрений, разноглубинной отвальной и комбинированной обработке и высоком увлажнении.

Коэффициент энергетической эффективности изменялся от 2.5 до 6.1. Установлено, что чем боль-

Таблица 5. Технологическое качество корнеплодов сахарной свеклы

K_y	Система		Сахаристость, % к СВ	РВ	Зола	Азот общий	Доброка- чественность очищенного сока	Потери сахара	Выход сахара на заводе	Сбор сахара, т/га	Коэффициент извлечения сахара из свеклы, %
	обработки	удобрения									
0.4	А	0	66.8	0.32	0.22	0.51	89.5	3.2	14.1	2.9	77.0
		NPK	66.4	0.43	0.24	0.55	88.7	3.5	13.5	4.4	75.0
	Г	0	64.2	0.44	0.27	0.41	88.1	3.8	13.1	2.4	73.2
		NPK	64.1	0.45	0.27	0.56	89.4	4.0	12.7	3.4	71.8
	Д	0	66.9	0.32	0.23	0.54	90.4	3.1	14.1	2.7	77.5
		NPK	66.7	0.41	0.22	0.58	88.8	3.4	13.6	4.2	75.6
0.9	А	0	68.5	0.09	0.31	0.35	93.0	1.9	14.5	4.0	83.3
		NPK	67.5	0.10	0.38	0.45	91.4	2.0	14.0	5.0	82.4
	Г	0	68.0	0.12	0.30	0.30	92.9	2.0	14.2	3.5	82.6
		NPK	67.3	0.14	0.34	0.35	92.4	2.1	13.8	4.8	81.7
	Д	0	70.0	0.08	0.30	0.32	92.8	1.8	14.7	3.8	84.0
		NPK	68.7	0.10	0.41	0.37	91.5	1.9	14.2	5.1	83.0
1.5	А	0	66.0	0.16	0.37	0.28	91.9	2.3	13.0	4.9	79.8
		NPK	65.3	0.18	0.42	0.30	91.6	2.5	12.5	6.1	78.1
	Г	0	65.1	0.17	0.31	0.33	91.4	2.6	12.6	4.0	77.8
		NPK	64.4	0.19	0.39	0.35	91.2	2.8	12.1	5.3	76.1
	Д	0	66.9	0.14	0.32	0.29	92.0	2.3	13.3	4.9	80.1
		NPK	65.4	0.15	0.39	0.31	91.5	2.5	12.6	6.1	78.2

ше коэффициент увлажнения, тем выше энергетическая эффективность (табл. 6). При комбинированной обработке почвы без удобрений коэффициент энергетической эффективности при низком увлажнении составил 3.6, при среднем — 4.2, при высоком — 6.1. При применении удобрений коэффициент энергетической эффективности сни-

Таблица 6. Энергетическая эффективность возделывания сахарной свеклы

Система		Коэффициент увлажнения					
обработки	удобрения	0.4		0.9		1.5	
		1	2	1	2	1	2
А	0	88.6	4.1	94.6	4.3	102.3	4.7
	NPK	120.5	3.0	144.0	3.6	177.9	4.5
Г	0	72.7	3.5	89.5	4.3	117.2	5.7
	NPK	99.0	2.5	131.5	3.4	161.1	4.1
Д	0	79.7	3.6	90.9	4.2	134.0	6.1
	NPK	122.3	3.1	138.1	3.5	185.5	4.6

Примечание. В графе 1 — энергия в урожае, ГДж/га; 2 — коэффициент энергетической эффективности.

жался на 4–29%, однако, чем был влажнее год, тем был выше показатель.

Стоимость продукции составляла от 52.1 тыс. руб./га при безотвальной обработке почвы в контроле при низком увлажнении до 135.8 тыс. руб./га при разноглубинной отвальной обработке с применением удобрений при высоком увлажнении (табл. 7).

Наибольший чистый доход с 1 т (1.55 тыс. руб.) был при высоком увлажнении с разноглубинной отвальной и комбинированной обработками почвы без применения удобрений. При использовании удобрений доход снижался до 1.36 тыс. руб./т, при этом была получена самая низкая себестоимость продукции (1.24–1.25 тыс. руб./т).

Рентабельность производства составила 18–81% при низком увлажнении, 45–70% — при среднем, и 91–123% — при высоком. При низком увлажнении большая рентабельность соответствовала отвальной обработке с внесением удобрений; при среднем — безотвальной обработке, при высоком — отвальной обработке без применения удобрений.

Таблица 7. Экономические показатели производства сахарной свеклы (в ценах 2016 г.)

K_y	Система		Стоимость	Затраты	Чистый доход, тыс. руб.		Себестоимость, тыс. руб./т	Рентабельность, %
	обработки	удобрения			га	т		
			тыс. руб./га					
0.4	А	0	58.0	46.7	11.3	0.54	2.25	24
		NPK	91.0	69.5	21.5	0.66	2.14	31
	Г	0	52.1	40.8	11.3	0.61	2.19	28
		NPK	75.9	63.6	12.3	0.45	2.35	19
	Д	0	54.9	46.7	8.2	0.42	2.38	18
		NPK	86.8	69.5	17.3	0.58	2.24	25
	А	0	76.4	46.7	29.7	1.09	1.71	64
		NPK	101.1	69.5	31.6	0.87	1.93	45
0.9	Г	0	69.4	40.8	28.6	1.15	1.65	70
		NPK	98.0	63.6	34.4	0.98	1.82	54
	Д	0	72.0	46.7	25.3	0.98	1.82	54
		NPK	100.8	69.5	31.3	0.89	1.93	45
1.5	А	0	105.3	46.7	58.3	1.55	1.24	125
		NPK	135.8	69.5	66.3	1.37	1.43	95
	Г	0	89.3	40.8	48.5	1.52	1.28	119
		NPK	121.8	63.6	58.2	1.33	1.46	91
	Д	0	104.2	46.7	57.5	1.55	1.25	123
		NPK	135.2	69.5	65.7	1.36	1.44	94

ВЫВОДЫ

1. Наибольшее влияние на урожайность сахарной свеклы из метеорологических факторов оказал коэффициент увлажнения в августе–сентябре ($r = 0.73$). Определены 3 группы лет для сахарной свеклы по величине коэффициента увлажнения: первая – $K_y = 0.4$, вторая – $K_y = 0.9$, третья – $K_y = 1.5$. Доля влияния метеорологических условий на урожайность сахарной свеклы составила 51, обработки почвы – 3, удобрений – 30%.

2. Режим влажности почвы при высоком увлажнении и применении удобрений был оптимальным для развития сахарной свеклы – общее водопотребление увеличивалось, а использование запасов влаги почвенных слоев – уменьшалось. Чем меньше коэффициент увлажнения, тем больше влаги почвенных слоев использовали растения сахарной свеклы. При применении удобрений и низком и среднем коэффициентах увлажнения суммарное водопотребление сахарной свеклы увеличивалось на 4–12%. При $K_y = 1.5$ удобрения не влияли на суммарное водопотребление.

3. Лучшие технологические качества корнеплодов (доброкачественность очищенного сока – 93%, потери сахара в мелассе – 2.0%, коэффициент извлечения сахара – 84.0%) отмечены при среднем увлажнении и комбинированной обработке почвы. При внесении удобрений качество ухудшалось, однако урожайность увеличивалась до 48.5 т/га, выход сахара – до 6.1 т/га.

4. Высокий коэффициент энергетической эффективности (4.5–4.6) и рентабельность производства (94–95%) сахарной свеклы отмечены при комбинированной и разноглубинной отвальной обработках почвы, высоком увлажнении и внесении удобрений. Без удобрений эффективность возделывания сахарной свеклы повышалась на 5–29% при сокращении продуктивности на 28–73%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко В.С., Гаврилюк М.С., Шаповал И.С. Нужны ли длительные многофакторные опыты // Земледелие. 1987. № 3. С. 11–14.
2. Боронтов О.К. Изменение агрофизических и агрохимических свойств выщелоченного чернозема в посевах сахарной свеклы при основной обработке и внесении удобрений в зерносвекловичном севообороте ЦЧЗ: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Воронеж: ВГАУ, 2005. 37 с.
3. Минакова О.А., Александрова Л.В. Влияние длительного применения удобрений на плодородие выщелоченного чернозема и потребление элементов питания сахарной свеклой // Научно-практические основы сохранения и воспроизводства плодородия почв ЦЧЗ: мат-лы засед. территор. координац. совета “Проблемы земледелия ЦЧЗ”. Каменная Степь, Воронеж: Истоки, 2008. С. 62–64.
4. Гармашов В.М. Обработка почвы как прием повышения эффективности использования почвенно-климатического потенциала // Докучаевское наследие: итоги и перспективы научного земледелия

- в России: сб. докл. Международ. научн.-практ. конф. Воронеж: Истоки, 2012. С. 119–126.
5. *Косьякин П.А., Манаенкова Е.Н., Боронтов О.К., Елфимов М.Н., Дьяков Д.А.* Расход воды и питательных веществ сахарной свеклы при различной обработке почвы // Там же. С. 165–167.
 6. *Минакова О.А., Тамбовцева Л.В., Александрова Л.В.* Продуктивность и вынос НРК гибридами сахарной свеклы отечественной и иностранной селекции на различных фонах основной удобрения // Сахарная свекла. № 5. 2014. С. 40–42.
 7. *Никитин В.В., Соловйченко В.Д., Ступаков А.Г., Навольнева Е.В.* Влияние агрогенных и природных факторов на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы на черноземе типичном // Инновации в АПК: пробл. и перспект. 2015. № 2 (6). С. 69–76.
 8. *Нестеров А.А., Аканова Н.И.* Влияние агрометеорологических условий на эффективность действия минеральных удобрений // 60 лет Географической сети опытов с удобрениями. Бюл. ВИАУ. 2001. № 115. С. 145–146.
 9. *Черкасов Г.Н., Соколов Н.С., Воронин А.Н., Понедельченко М.Н., Трапезников С.В.* Влияние погодных условий и минеральных удобрений на плодородие почвы и урожайность сахарной свеклы в Центральном Черноземье России // Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: сб. докл. Международ. научн.-практ. конф. Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2008. С. 401–405.
 10. *Ким А.Д., Лазарев В.И.* Электромагнитный механизм влияния атмосферы на продуктивность агроландшафта // Экологизация земледелия и оптимизация агроландшафтов: сб. докл. Всерос. научн.-практ. конф. Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2014. С. 150–153.
 11. *Боронтов О.К., Никульников И.М., Кураков В.И., Сумин А.Н.* Водно-физические свойства и элементы водного режима чернозема выщелоченного при разных способах основной обработки и внесения удобрений в севообороте // Почвоведение. 2005. № 1. С. 113–121.
 12. Методическое руководство по изучению почвенной структуры / Под ред. И.Б. Ревута, А.Н. Роде. М.: Колос, 1969. 527 с.
 13. *Барштейн Л.А., Гизбуллин Н.Г.* Методика исследований по сахарной свекле. Киев: ВНИС, 1986. 262 с.
 14. *Лосева В.А., Ефремов А.А., Квитко И.В.* Методы исследования свойств сырья и готовой продукции (теория и практика). Учеб. пособ. Воронеж: ВГТА, 2008. 247 с.
 15. Методические рекомендации по энергетической оценке систем и приемов обработки почвы. М.: ВАСХНИЛ, 1989. 30 с.
 16. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. М.: ВНИИЭСХ, 1998. 150 с.
 17. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
 18. *Орловский Н.И.* Основы биологии сахарной свеклы. Киев: Госсельхозиздат УССР, 1961. 324 с.
 19. *Медведев В.В.* Оптимизация агрофизических свойств черноземов. М.: Агропромиздат, 1988. 160 с.
 20. *Кузнецова И.В.* Физические свойства пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв // Почвоведение. 1978. № 2. С. 44–55.
 21. *Сапожников П.М., Прохоров А.Н.* Подходы к расчету показателей мониторинга физического состояния почв // Почвоведение. 1992. № 9. С. 52–64.
 22. *Мухомтов Я.Н., Мацнева Н.Г., Михайлова М.Ф.* Эффективность различных способов основной обработки почвы в Воронежской области // Земледелие. 1978. № 3. С. 8–9.
 23. *Лазарев В.И.* Влияние основных природных и антропогенных факторов на режим и свойства типичного чернозема, уровень урожайности и качество продукции полевых культур в условиях лесостепи ЦЧЗ: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Курск: ВНИИЗ и ЗПЭ, 1996. 45 с.
 24. *Минакова О.А.* Агроэкологические аспекты применения удобрений в зернопаропропашном севообороте лесостепи ЦЧР: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Воронеж: ВГАУ, 2011. 48 с.

Moisture Regime of Leached Chernozem, the Yield and Quality of Sugar Beet Root Crops under Different Weather and Agrotechnical Conditions in the Central Chernozem Region

O. K. Borontov^a, P. A. Kosyakin^{a, #}, and E. N. Manaenkova^a

^aAll-Russian Scientific Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Mazlumov
p. VNISS 86, Voronezh region, Ramonsky district 396030, Russia

[#]E-mail: kosyakinp@mail.ru

The efficiency of moisture use and the yield of sugar beet increased with the use of fertilizers, combined tillage and an increase in the moisture coefficient (according to Ivanov) for 2 months before cleaning. A more favorable soil moisture regime and a lower density of addition in sugar beet crops were formed in conditions of high moisture during combined tillage. The best technological qualities of the root fruits are determined with average moisture and combined processing. The share of the influence of weather conditions on crop yield was 51, fertilizers – 30, tillage – 3%. The highest yield of sugar beet (48.3–48.5 t/ha), energy efficiency (4.6) and profitability of production (95%) were established with multi-depth dump and combined tillage in crop rotation, fertilization and high soil moisture.

Key words: sugar beet, tillage, fertilizers, meteorological conditions, humidity, addition density, leached chernozem, yield, technological qualities, energy efficiency.