

УДК 631.432:631.8:631.51:631.559:633.63(470.32)

## ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ВЫНОС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И УРОЖАЙНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В ЦЧР

© 2019 г. О. К. Боронтов<sup>1</sup>, П. А. Косякин<sup>1,\*</sup>, Е. Н. Манаенкова<sup>1</sup>

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

\*E-mail: kosiakinp@mail.ru

Поступила в редакцию 24.09.2018 г.

После доработки 19.12.2018 г.

Принята к публикации 13.06.2019 г.

Показано, что эффективность использования питательных веществ 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 в посевах сахарной свеклы складывался в условиях высокого увлажнения, при комбинированной обработке. Лучшие технологические качества корнеплодов формировались при среднем увлажнении и комбинированной обработке почвы. Доля влияния погодных условий на урожайность культуры составила 51, удобрений – 30, обработки почвы – 3%. Наибольшая энергетическая эффективность (4,6%) и рентабельность производства (95%) установлены при отвальной и комбинированной обработках почвы в севообороте, внесении удобрений и высоком увлажнении почвы.

*Ключевые слова:* метеорологические условия, системы удобрения, способы обработки почвы, вынос питательных веществ, урожайность, сахарная свекла, Центрально-Черноземный регион.

DOI: 10.1134/S0002188119090047

### ВВЕДЕНИЕ

Для достоверной оценки тех или иных агроприемов в земледелии проводят как краткосрочные, так и длительные исследования, а погодные условия, как правило, упоминаются в методике проведения экспериментов. При обсуждении результатов усредняется влияние погодных условий на формирование основных выводов исследования [1–6]. Однако известно, что их влияние на продуктивность культур высоко, о чем свидетельствует изменение урожайности сельскохозяйственных культур по годам [7–10]. Величина прямого влияния отдельных факторов и их сочетаний на продуктивность, качество и вынос питательных элементов сахарной свеклы в Центрально-Черноземном регионе в разных погодных условиях изучена недостаточно, поэтому определение степени влияния каждого фактора и их сочетаний на урожайность сахарной свеклы остается важной задачей в совершенствовании агротехники возделывания культуры.

Цель работы – изучить влияние факторов интенсификации (систем обработки почвы и удобрения) на урожайность 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” Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова с 1987 по 2015 гг. в паровом звене 9-польного плодосменного севооборота со следующим чередованием культур: черный пар, озимая пшеница, сахарная свекла, ячмень с подсевом клевера, клевер на один укос, озимая пшеница, сахарная свекла, однолетние травы, кукуруза на зеленый корм. Почва стационарного опыта – чернозем выщелоченный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое составляло 5,4–5,7%.

Были изучены 3 системы основной обработки почвы:

А – отвальная обработка под все культуры: 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 на глубину 30–32 см по схеме улучшенной зяби (дисковое лушение на 6–8 см, плоскорезное рыхление на 12–14 см, вспашка);

*Г* – безотвальная (плоскорезная) обработка под все культуры: 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 плоскорезная 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 на глубину 25–27 см под кукурузу и черный пар, плоскорезная обработка на глубину 20–22 см под озимую пшеницу, высеянную после клевера, однолетние травы, ячмень, 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 неудобренном (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 – под озимую пшеницу, высеянную 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 было внесено N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади. Площадь делянки 110 м<sup>2</sup>, учетной – 13.5 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная.

Для основной обработки почвы использовали плуг ПН-4-35, плоскорез КПП-250, лушительники ЛДГ-10 и БДТ-3. В качестве минерального удобрения применяли НАФК (16:16:16). Агротехника возделывания – общепринятая для ЦЧЗ, при которой сорные растения уничтожали почвенными гербицидами. Посев сахарной свеклы проводили районированными гибридами и сортами и осуществляли его в первой декаде мая, уборку – в третьей декаде сентября.

В течение вегетационного периода в посевах сахарной свеклы отбирали образцы растений и определяли: влажность – весовым методом (ГОСТ-26268-89), содержание азота, фосфора и калия в растениях – из одной навески по Кураеву [11], вынос и коэффициенты использования питательных веществ – по методу ЦИНАО [12], урожайность сахарной свеклы – по методу ВНИС [13], технологические качества сахарной свеклы – по Силину [13], энергетическую оценку – по методу ВАСХНИЛ [14], экономическую эффективность – по методу РАСХН [15]. Статистическую обработку данных провели по [16].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольший коэффициент корреляции ( $r = 0.73$ ) установлен между урожайностью и коэффициентом увлажнения почвы в августе–сентябре. Корреляция между урожайностью сахарной свеклы и другими погодными факторами составила  $r = 0.26–0.64$ .

Все годы опыта были разделены на три группы. Первая группа (низкое увлажнение) имела следующие показатели благоприятности 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, средняя урожайность сахарной свеклы – 24.2 т/га с варьированием по годам: в контроле – 10.9–26.2, в удобренном варианте – 19.3–34.5 т/га. Средняя прибавка от применения удобрений составила 50%. В группе оказалось 10 лет (1988, 1991, 1994, 1998, 1999, 2004, 2009, 2010, 2014, 2015 гг.) или 34% лет исследования, 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, в августе – 48, в сентябре – 30 мм, что составило 167, 115, 70, 89 и 52% от среднемноголетней нормы соответственно.

Вторая результативная группа лет (среднее увлажнение) была сформирована при коэффициенте увлажнения 0.9. Количество осадков за вегетационный период – 320 мм, за год – 641 мм, средняя урожайность сахарной свеклы – 34.5 т/га (увеличилась на 42%). Варьирование урожайности составило: без удобрений – 18.5–30.3, при их применении – 31.0–39.8 т/га. В эту группу вошло 11 лет (1987, 1990, 1993, 1995, 1996, 1997, 2000, 2001, 2005, 2006, 2011 гг.) или 38% лет исследования. В этой группе 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 среднемноголетней нормы соответственно. Температурный режим характеризовался более умеренными показателями – 19–21°C.

Третья группа лет исследований (высокое увлажнение) характеризовалась следующими показателями (8 и 28% лет исследований – 1989, 1992, 2002, 2003, 2007, 2008, 2012, 2013 гг.): коэффициент увлажнения – 1.5, количество осадков за год – 683 мм, в течение вегетационного периода – 360 мм, урожайность – 41.5 т/га (увеличение на 71% по сравнению с первой группой). Урожайность в контроле 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, в июле – 22, в августе – 21, в сентябре – 15°C. Количество осадков за май–июнь сократилось до 30 мм, или на 70% от среднемноголет-

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

$K_{ув}$	Система		Период вегетации								
	обработки почвы	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	1160	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	199	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
<i>HCP</i> <sub>05</sub>				7	15		5	12		8	14

Примечание. А – отвальная, Г – безотвальная, Д – комбинированная обработка почвы.;  $K_{ув}$  – коэффициент увлажнения. То же в табл. 4, 7, 9.

ней нормы, за август увеличилось до 82 мм, или до 152%, за сентябрь – до 92 мм, или до 159%.

Изучение влажности почвы в весенний период показало, что в слое 0–30 см содержалось 66.4–89.8, в слое 0–50 см – 130–159, в слое 0–100 см – 290–328 мм влаги/га (табл. 1). Не обнаружено влияния обработки почвы и условий увлажнения на запас влаги в этот срок взятия проб. 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 большие показатели в 1-метровом слое почвы были при безотвальной обработке почвы: при низком увлажнении – 280, при среднем – 257, при высоком – 274 мм/га. Более низкие запасы влаги в почве оказались при комбинированной обработке почвы: 210–214 при среднем, 238 мм/га при низком и 247–249 мм/га при высоком коэффициенте увлажнения.

Таким образом, за первую половину вегетационного периода уже были отмечены различия в режиме влажности почвы. Это подтвердили расчеты водопотребления сахарной свеклы за счет запасов почвенной влаги. Например, наибольший расход почвенной влаги из слоя 0–100 см со-

ставил 90.5–92.4 мм/га при комбинированной обработке почвы и среднем увлажнении, а наименьший – 28.1–36.9 мм/га – при безотвальной обработке почвы и высоком увлажнении. Расход влаги почвы из слоя 0–50 см варьировал от 25.9 до 52.1 мм/га. В среднем он составил в удобренных вариантах 38.4 мм/га при низком увлажнении, 44.5 – при среднем, и 31.4 мм/га – при высоком. При среднем увлажнении водопотребление за счет запасов почвенной влаги в удобренных вариантах повышалось, при высоком – уменьшалось на 20–25%.

При уборке сахарной свеклы условия увлажнения в августе–сентябре значительно повлияли на запас влаги в почве. Например, при низком увлажнении запасы влаги в слое почвы 0–100 см составили 243–276 мм/га, при среднем – 264–296 мм/га, или увеличились на 6%, при высоком – 279–294 мм/га и на 12% соответственно. Больше всего запасов влаги в почве оказалось при безотвальной обработке почвы – 266–296 мм/га.

Таким образом, более благоприятный режим влажности почвы складывался в условиях высокого увлажнения и при комбинированной обработке почвы. Такое происходило за счет увеличения и перераспределения количества осадков на вторую половину вегетации, особенно на август, что считается наиболее критическим периодом в

**Таблица 2.** Содержание питательных элементов в листьях сахарной свеклы, %

Система		Коэффициент увлажнения								
обработки почвы	удобрения	0.4			0.9			1.5		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Отвальная	0	2.42	0.70	4.80	2.46	0.68	5.69	2.66	1.01	6.07
	NPK	2.89	1.03	4.55	2.57	0.81	4.93	2.79	1.10	5.09
Безотвальная	0	3.07	0.76	4.54	2.36	0.71	5.10	3.09	0.98	5.35
	NPK	3.78	0.96	4.12	2.48	0.82	4.78	2.90	1.20	4.97
Комбинированная	0	3.36	0.81	4.93	2.41	0.72	5.58	3.06	1.03	6.03
	NPK	3.38	1.15	3.90	2.54	0.83	4.48	3.22	1.20	4.01

**Таблица 3.** Содержание питательных элементов в корнеплодах сахарной свеклы, %

Система		Коэффициент увлажнения								
обработки почвы	удобрения	0.4			0.9			1.5		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Отвальная	0	0.58	0.29	0.75	0.72	0.28	1.06	0.91	0.43	1.38
	NPK	0.70	0.32	0.75	0.87	0.37	1.03	1.15	0.43	1.22
Безотвальная	0	0.61	0.31	0.72	0.66	0.35	1.01	1.05	0.46	1.23
	NPK	0.72	0.31	0.80	0.72	0.36	1.05	1.24	0.47	1.38
Комбинированная	0	0.63	0.32	0.76	0.68	0.33	1.08	1.04	0.42	1.21
	NPK	0.73	0.31	0.83	0.73	0.40	1.04	1.02	0.41	1.38

потребности сахарной свеклы во влаге [17], а также за счет лучшего строения пахотного слоя почвы, и большей степени доступности влаги растениям [2, 5].

Корреляция между коэффициентом увлажнения в августе–сентябре и показателями водопотребления сахарной свеклы была сильной ( $r = 0.88-0.99$ ).

Содержание азота в листьях сахарной свеклы при уборке составило 2.41–3.38% (табл. 2). В годы с низким увлажнением содержание элемента увеличивалось, также оно увеличивалось при внесении удобрений. Содержание фосфора в листьях в годы с низким увлажнением составило 0.70–1.15, со средним – 0.68–0.81, с высоким – 0.98–1.20%. Содержание фосфора в листьях сахарной свеклы увеличивалось в годы с высоким увлажнением в среднем на 20% по сравнению с годами низкого увлажнения, и на 43% по сравнению с годами со средним увлажнением. При применении удобрений содержание фосфора в листьях увеличивалось на 26–47% при низком увлажнении, и на 10–20% при среднем и высоком.

Содержание калия в листьях увеличивалось при высоком увлажнении с 3.90–4.93 до 4.01–6.07%, при применении удобрений содержание калия снижалось на 5–13%. Закономерности со-

держания калия в листьях в зависимости от обработки почвы не обнаружено.

Содержание азота в корнеплодах составило при низком увлажнении 0.58–0.70, при среднем увлажнении – 0.66–0.87, при высоком – 0.91–1.24% (табл. 3). Содержание фосфора и калия в корнеплодах также возрастало с увеличением степени увлажнения почвы.

При применении удобрений при всех вариантах увлажнения содержание азота в корнеплодах повышалось на 7–25%. Большой прирост содержания азота отмечали при отвальной обработке. Содержание фосфора увеличивалось при применении удобрений на 21–32% при среднем увлажнении. При высоком увлажнении содержание фосфора в корнеплодах при применении удобрений снижалось на 0.01–0.10%. Содержание калия в корнеплодах при применении удобрений снижалось. При применении комбинированной обработки почвы отмечена тенденция к увеличению содержания азота, фосфора и калия в корнеплодах сахарной свеклы.

Вынос азота урожаем варьировал от 86 до 318 кг/га, фосфора – от 39 до 122 кг/га, и калия – от 128 до 411 кг/га (табл. 4).

Самый низкий суммарный вынос питательных веществ был без применения удобрений и

**Таблица 4.** Вынос и расход питательных элементов сахарной свеклой

$K_{ув}$	Система		Вынос, кг/га			Расход, кг/т			Сумма расхода, кг/т
	обработки почвы	удобрения	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
0.4	Отвальная	0	86	32	148	4.1	1.5	7.1	12.7
		NPK	152	60	207	4.7	1.8	6.4	12.9
	Безотвальная	0	106	34	126	5.7	1.8	6.8	14.3
		NPK	153	49	173	5.6	1.8	6.4	13.8
	Комбинированная	0	117	37	163	6.0	1.9	8.3	16.2
		NPK	198	72	227	6.4	2.3	7.3	16.0
0.9	Отвальная	0	102	33	178	3.7	1.2	6.5	11.4
		NPK	197	71	321	5.4	2.0	8.8	16.2
	Безотвальная	0	95	38	181	3.8	1.5	7.3	12.6
		NPK	151	61	262	4.3	1.7	7.5	13.5
	Комбинированная	0	95	36	186	3.7	1.4	7.2	12.3
		NPK	150	63	232	4.2	1.8	6.4	12.4
1.5	Отвальная	0	152	69	302	4.0	1.8	8.0	13.8
		NPK	283	109	411	5.8	2.2	8.4	16.4
	Безотвальная	0	188	69	279	5.9	2.1	8.7	16.7
		NPK	278	110	346	6.4	2.5	7.9	16.8
	Комбинированная	0	203	75	322	5.4	2.0	8.6	16.0
		NPK	318	122	411	6.6	2.5	8.5	17.5

безотвальной обработке почвы с низкой увлажненностью – 266 кг/га, а самый высокий (851 кг/га) – при высоком увлажнении и комбинированной обработке с применением удобрений (увеличение выноса в 3 раза).

Вынос азота в контроле без удобрений составил при низком увлажнении 86–117, при среднем – 95–102, при высоком – 152–203 кг/га. При применении удобрений вынос азота увеличивался на 44–93% в зависимости от обработки почвы и условий увлажнения. Наибольший вынос был при комбинированной обработке, а наименьший – при безотвальной. Значительное увеличение выноса азота от действия удобрений наблюдали при отвальной обработке почвы.

Вынос фосфора в контроле составил: при низком и среднем увлажнении – 32–38, при высоком – 69–75 кг/га, или увеличивался в 2 раза. Наибольший вынос фосфора урожаем составил 122 кг/га при применении удобрений и комбинированной обработки почвы.

Вынос калия сахарной свеклой превосходил вынос азота и фосфора и составлял при низком увлажнении 126–227, при среднем – 178–321; при высоком – 279–411 кг/га. Установлено, что при увеличении коэффициента увлажнения с 0.4 до 0.9 средний вынос калия во всех вариантах опыта увеличивался на 30%, при дальнейшем увеличении коэффициента увлажнения до 1.5 – еще на 52%. Минимальный вынос калия был в варианте без применения удобрений, при низком увлажне-

нии и безотвальной обработке почвы. Самый значительный вынос установлен при внесении удобрений, отвальной и комбинированной обработках почвы и при высоком увлажнении. При безотвальной обработке почвы вынос калия снижался на 15% по сравнению с другими обработками.

Наименьший расход (вынос 1 т продукции) азота отмечен при среднем увлажнении (3.7–5.4 кг/т), наибольший – при высоком (4.0–6.6 кг/т). Установлено, что расход азота при внесении удобрений повышался на 6–45% и изменялся в зависимости от условий увлажнения и способа обработки почвы. Наибольший расход азота установлен при комбинированной обработке и внесении удобрений – до 6.6 кг/т. В среднем расход азота на образование 1 т корнеплодов составил 5.1 кг/т, что больше нормативного на 4% [12].

Расход фосфора составил при низком увлажнении 1.5–2.3, при среднем – 1.2–2.0, при высоком – 1.8–2.5 кг/т. Наибольший расход фосфора отмечен при комбинированной, безотвальной обработках почвы и высоком увлажнении при применении удобрений (2.5 кг/т), наименьший (1.2 кг/т) – в контроле при среднем увлажнении и отвальной обработке. В среднем при применении удобрений расход элемента увеличивался на 22%. В опыте расход элемента составил 1.9 кг/т (увеличение по сравнению с нормативным на 46%).

Расход калия варьировал от 6.4 до 8.9 кг/т (нормативный – 5.9 кг/т) и увеличился в среднем на 29%). Самый большой расход калия отмечен

**Таблица 5.** Коэффициенты использования питательных веществ сахарной свеклой из минеральных удобрений, %

Система обработки	Питательные элементы								
	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O		
	0.4	0.9	1.5	0.4	0.9	1.5	0.4	0.9	1.5
Отвальная	41	59	82	16	24	37	37	89	68
Безотвальная	29	35	56	9	24	29	29	51	42
Комбинированная	50	34	72	20	28	29	40	29	55
Нормативные	39.2			12.0			53.8		

**Таблица 6.** Урожайность и сахаристость сахарной свеклы

Система		Коэффициент увлажнения			Среднее для обработок $HCP_{05} = \frac{1.4}{0.3}$	Среднее для удобрений $HCP_{05} = \frac{1.4}{0.3}$
обработки почвы	удобрения	0.4	0.9	1.5		
Отвальная	Контроль без удобрений	$\frac{20.7}{18.3}$	$\frac{27.3}{17.4}$	$\frac{37.6}{16.3}$	$\frac{33.8}{17.1}$	$\frac{27.0}{17.3}$
	НPK	$\frac{32.5}{18.0}$	$\frac{36.1}{17.0}$	$\frac{48.5}{16.0}$		$\frac{37.6}{16.8}$
	Безотвальная	Контроль без удобрений	$\frac{18.6}{17.9}$	$\frac{24.8}{17.2}$	$\frac{31.9}{16.2}$	$\frac{31.2}{17.0}$
	НPK	$\frac{27.1}{17.7}$	$\frac{35.0}{16.9}$	$\frac{43.5}{15.9}$		
Комбинированная	Контроль без удобрений	$\frac{19.6}{18.2}$	$\frac{25.7}{17.5}$	$\frac{37.2}{16.6}$	$\frac{33.0}{17.2}$	
	НPK	$\frac{31.0}{18.0}$	$\frac{36.0}{17.1}$	$\frac{48.3}{16.1}$		
	Среднее для увлажнения $HCP_{05} = \frac{1.4}{0.4}$	$\frac{24.9}{18.0}$	$\frac{31.8}{17.2}$	$\frac{41.2}{16.2}$		

$HCP_{05}$ (частных) обработки	$\frac{2.5}{0.3}$
удобрений	$\frac{2.0}{0.3}$
увлажнения	$\frac{2.5}{0.3}$

Примечание. Над чертой – т/га, под чертой – %.

при высоком увлажнении в контроле, минимальный – при применении удобрений и низком увлажнении.

При отвальной обработке почвы использование азота составляло при низком увлажнении 41, при среднем – 59, при высоком – 82, использование фосфора – 16, 24, 37%, использование калия – 37, 89, 68% соответственно (табл. 5).

При применении безотвальной обработки почвы коэффициент использования азота снижался в среднем на 34, фосфора – на 26, калия – на 37% по сравнению с отвальной обработкой. Комбинированная обработка занимала промежуточное положение.

При улучшении условий увлажнения использование питательных веществ возрастало. Например, использование азота при отвальной обработке увеличивалось с 41 до 82, фосфора – с 16 до 24%.

Урожайность сахарной свеклы варьировала в широких пределах. Однако средние показатели составляли от 18.6 т/га в контроле при безотвальной обработке почвы и при низком увлажнении до 48.5 т/га при внесении удобрений, отвальной обработке и высоком увлажнении (табл. 6).

Установлено, что при коэффициенте увлажнения за 2 мес до уборки, равном 0.4, средняя урожайность составила 24.9 т/га, а при коэффициенте увлажнения 0.9 – 30.8 т/га, или увеличилась на

Таблица 7. Технологические качества корнеплодов сахарной свеклы

K <sub>ув</sub>	Система		Сахаристость, % к СВ	РВ	Зола	Азот общий	Доброкачественность очищенного сока	Потери сахара	Выход сахара на заводе	Сбор сахара, т/га	Коэффициент извлечения сахара из свеклы, %
	обработки почвы	удобрения									
0.4	Отвальная	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
	Безотвальная	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
	Комбинированная	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	Отвальная	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
	Безотвальная	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
	Комбинированная	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	Отвальная	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
	Безотвальная	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
	Комбинированная	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

Примечание. СВ – сухое вещество.

24%, 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 отвальной и комбинированной обработками, где урожайность составила 33.0–33.8 т/га.

Улучшение условий питания растений сахарной свеклы не только повышало урожайность корнеплодов, но и нивелировало отрицательное влияние недостатка влаги. Например, при 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 – 11 и 49% соответственно.

Изменения урожайности корнеплодов на 51% были обусловлены воздействием сложившихся погодных условий (по результатам дисперсионного анализа), на 3% – обработкой почвы и на 30% – применением удобрений. Взаимодействие изученных факторов было несущественным. Доля влияния погодных условий на урожайность сахарной свеклы, представленная в других исследо-

ваниях, проведенных в ЦЧР, составляла 40–47% [9, 18–20], доля влияния погодных условий на продуктивность варьировала от 19% для ячменя, до 88% для льна [8]. Следовательно, обеспеченность растений влагой во второй период вегетации является гарантией существенного увеличения урожайности культуры [17].

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 отмечена при коэффициенте увлажнения 0.4 – 17.7–18.3% (средняя равна 18.0%) (табл. 7). 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 комбинированной обработке почвы в контрольных вариантах, наименьшая – при безотвальной обработке и при внесении удобрений.

При низком увлажнении при применении удобрений сахаристость снижалась на 0.2–0.3%, а при среднем и высоком увлажнении – на 0.4–0.8%.

Таблица 8. Энергетическая эффективность возделывания сахарной свеклы

Система		Коэффициент увлажнения					
обработки почвы	удобрения	0.4		0.9		1.5	
		Энергия в урожае, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности	Энергия в урожае, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности	Энергия в урожае, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности
Отвальная	0	88.6	4.1	94.6	4.3	102	4.7
	NPK	121	3.0	144	3.6	178	4.5
Безотвальная	0	72.7	3.5	89.5	4.3	117	5.7
	NPK	99.0	2.5	132	3.4	161	4.1
Комбинированная	0	79.7	3.6	90.9	4.2	134	6.1
	NPK	122	3.1	138	3.5	186	4.6

Хотя наибольшая сахаристость сахарной свеклы была отмечена при низком увлажнении – 17.7–18.3%, но по отношению к сухому веществу при таком увлажнении величины составили 64.1–66.9%, что было меньше, чем при среднем увлажнении (67.3–70.0%). 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 способами обработки почвы.

Выход сахара изменялся обратно пропорционально потерям. Например, наибольший выход сахара (13.8–14.7%) отмечен при среднем увлажнении. При этом выявили повышенный коэффициент извлечения сахара из свеклы – 82.3–84.0%. Большой выход сахара (14.7%) и коэффициент извлечения (84.0%) был 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 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 можно обосновать различием в химическом составе свекловичного сырья и связанные с этим потери 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, отвальной и комбинированной обработке и высоком увлажнении.

Коэффициент энергетической эффективности изменялся от 2.5 до 6.1.

Установлено, что чем выше коэффициент увлажнения, тем выше энергетическая эффективность (табл. 8). Например, 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 снижался на 4–29%. Однако, чем был влажнее год, тем был больше показатель.

Стоимость продукции составила от 52.1 тыс. руб./га при безотвальной обработке почвы в контроле при низком увлажнении до 135.8 тыс. руб./га при отвальной обработке и применении удобрений при высоком увлажнении (табл. 9). Наибольший чистый доход с 1 т – 1.55 тыс. руб./т был при высоком увлажнении с отвальной и комбинированной обработками почвы без применения удобрений. При использовании удобрений доход снижался до 1.36 тыс. руб./т, при этом выявлена



Таблица 9. Экономические показатели производства сахарной свеклы (в ценах 2016 г.)

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

самая низкая себестоимость продукции – 1.24–1.25 тыс. руб/т.

Рентабельность производства культуры 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.

## ВЫВОДЫ

1. Наибольшее влияние на урожайность сахарной свеклы из метеорологических факторов оказала величина увлажнения за август–сентябрь ( $r = 0.73$ ). Определены 3 группы лет исследования в зависимости от коэффициента увлажнения ( $K_{ув}$ ). Первая –  $K_{ув} = 0.4$ , вторая –  $K_{ув} = 0.9$ , третья –  $K_{ув} = 1.5$ . 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.

3. Высокое увлажнение ( $K_{ув} = 1.5$ ), комбинированная, отвальная обработки почвы и удобрения максимально повышали вынос и использование питательных веществ сахарной свеклой.

4. 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 технологические качества ухудшались, однако урожайность корнеплодов увеличивалась до 48.5 т/га, а выход сахара – до 6.1 т/га.

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

- тов питания сахарной свеклой // Научно-практические основы сохранения и воспроизводства плодородия почв ЦЧЗ: мат-лы заседания территориального координационного 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. Косякин П.А., Манаenkova Е.Н., Боронтов О.К., Елфимов М.Н., Дьяков Д.А. Расход воды и питательных веществ сахарной свеклой 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. 2014. № 5. С. 40–42.
  7. Никитин В.В., Соловиченко 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 перспективы. 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. ВИУА. 2001. № 115. С. 145–146.
  9. Черкасов Г.Н., Соколов Н.С., Воронин А.Н., Пондельченко 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. Кураев В.Т., Пономарев А.А., Ерошкина С.М. Сельскохозяйственный анализ и основы биохимии растений. М.: Колос, 1977. 240 с.
  12. Нормативы выноса и коэффициенты использования питательных веществ сельскохозяйственными культурами из минеральных удобрений и почвы. М.: ЦИНАО, 1980. 110 с.
  13. Барштейн Л.А., Гизбуллин Н.Г. Методика исследований по сахарной свекле. Киев: ВНИС, 1986. 262 с.
  14. Методические рекомендации по энергетической оценке систем и приемов обработки почвы. М.: ВАСХНИЛ, 1989. 30 с.
  15. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. М.: ВНИИЭСХ, 1998. 150 с.
  16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
  17. Орловский Н.И. Основы биологии сахарной свеклы. Киев: Госсельхозиздат УССР, 1961. 324 с.
  18. 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.
  19. Минакова О.А. Агроэкологические аспекты применения удобрений в зернопаропропашном севообороте лесостепи ЦЧР: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Воронеж: ВГАУ, 2011. 48 с.
  20. Свиридов С.С. Особенности воздействия физиологически активных веществ на растения сахарной свеклы в зависимости от фона минерального питания: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Рамонь: ВНИИСС, 2009. 21 с.

## Influence of Meteorological Conditions, Fertilizer Systems and Soil Treatment on the Removal of Nutrients and Yield of Sugar Beet in the Central-Chernozem Region

O. K. Borontov<sup>a</sup>, P. A. Kosyakin<sup>a, #</sup>, and E. N. Manaenkova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>All-Russian Research Institute for Sugar Beet and Sugar Named A.L. Mazlumov  
p. VNIISS 86, Voronezh region, Ramon district 396030, Russia

<sup>#</sup>E-mail: kosyakinp@mail.ru

The effectiveness of the use of nutrients and the yield of sugar beet increased with the use of fertilizers, combined tillage and an increase in the coefficient of moisture (according to Ivanov) two months before harvesting. A more favorable soil moisture regime in sugar beet crops was formed under conditions of high moisture, with a combined treatment. The best technological qualities of root crops are determined with average moisture and combined processing. The share of the influence of weather conditions on crop yield was 51, fertilizer – 30, tillage – 3%. The highest energy efficiency (4.6) and the profitability of production (95%) were established with dump and combined tillage in crop rotation, fertilization and high moisture.

*Key words:* meteorological conditions, fertilizer systems, soil treatment, removal of nutrients, yield, sugar beet, Central-Chernozem region.