

УДК 633.63:631.1:551.5:631.41:631.411.2

## СОДЕРЖАНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В ЦЧР

© 2022 г. П. А. Косякин<sup>1,\*</sup>, О. К. Боронтов<sup>1</sup>, Л. Н. Путилина<sup>1</sup>, Е. Н. Манаенкова<sup>1</sup>

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

\*E-mail: kosiakinp@mail.ru

Поступила в редакцию 27.09.2021 г.

После доработки 12.12.2021 г.

Принята к публикации 15.02.2022 г.

Показано, что при увеличении увлажнения (по Иванову) и внесении удобрений содержание питательных элементов и дифференциация пахотного слоя чернозема выщелоченного увеличивалась. Увеличению содержания питательных веществ в почве способствовала разноглубинная отвальная обработка в севообороте, а увеличению дифференциации – безотвальная. Наибольшая продуктивность (48.3–48.5 т/га) сахарной свеклы установлена при разноглубинной отвальной и комбинированной обработках почвы в севообороте, внесении удобрений и высоком увлажнении. Доля влияния погодных условий на урожайность культуры составила 51, удобрений – 30, обработки почвы – 3%.

*Ключевые слова:* сахарная свекла, основная обработка почвы, удобрения, погодные условия, агротехника, чернозем выщелоченный, питательные элементы, урожайность, технологические качества.

DOI: 10.31857/S0002188122050040

### ВВЕДЕНИЕ

Влияние погодных условий на продуктивность культур высоко, о чем свидетельствуют изменения урожайности сельскохозяйственных культур по годам, поэтому необходим постоянный мониторинг влияния тех или иных агроприемов на плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур, который решается в длительных стационарных опытах [1–3].

Системы основной обработки почвы также оказывают влияние как на обеспеченность растений элементами питания, так и на аккумуляцию их в различных частях корнеобитаемого слоя [4]. Преимуществу отвальной и комбинированной обработок в севообороте способствует улучшение питательного режима по сравнению с ежегодной безотвальной обработкой, а в зоне неустойчивого увлажнения, где есть вероятность пересыхания поверхностного слоя почвы, важно иметь равномерное содержание азота, фосфора и калия во всем пахотном слое [5–7].

Во влажных условиях при возделывании культур содержание питательных веществ в почве увеличивается как без удобрений, так и при их применении [8–10].

Цель работы – изучить влияние погодных условий, систем обработки почвы, удобрений на питательный режим чернозема выщелоченного и продуктивность сахарной свеклы.

### 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 2020 г. В посевах сахарной свеклы парового звена 9-польного (черный пар, озимая пшеница, сахарная свекла, ячмень с подсевом клевера, клевер на один укос, озимая пшеница, сахарная свекла, однолетние травы (овес + горох), кукуруза на зеленый корм) плодосменного севооборота изучены 3 системы основной обработки почвы: А – разноглубинная отвальная обработка под все культуры: вспашка под кукурузу и черный пар на глубину 25–27 см, под ячмень, озимую пшеницу по клеверу, однолетние травы – на 20–22 см, под сахарную свеклу – обработка по схеме улучшенной зяби (дисковое лушение на 6–

8 см, плоскорезное рыхление на 12–14 см, вспашка на 30–32 см); Г – безотвальная (плоскорезная) обработка под все культуры севооборота: под кукурузу и черный пар – на 25–27 см; под озимую пшеницу после клевера, ячмень, однолетние травы – на 20–22 см, под сахарную свеклу – на 30–32 см по схеме улучшенной зяби; Д – комбинированная (отвально-безотвальная) обработка: вспашка на 25–27 см под кукурузу и черный пар, плоскорезная обработка на 20–22 см под озимую пшеницу после клевера, ячмень, однолетние травы, под сахарную свеклу – отвальная обработка на 30–32 см по схеме улучшенной зяби.

Влияние основной обработки почвы изучали на неудобренном (контроль) и удобренном фоне N59P59K59 + навоз 11 т/га севооборотной площади, в том числе под сахарную свеклу N170P170K170. Площадь делянки 110 м<sup>2</sup>, учетной – 13.5 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная, возделывали районированные в разные годы сорта и гибриды, срок сева – первая декада мая. Для уничтожения сорной растительности применяли гербициды.

В течение вегетационного периода определяли: нитратный азот в почве – по Грандваль–Ляжу (ГОСТ-26951-86), подвижный фосфор и обменный калий в почве – по Чирикову (ГОСТ 26201-91) [11], урожайность сахарной свеклы – по методике ВНИС [12], технологическое качество корнеплодов – по Силину [13], энергетическую оценку – по методике ВАСХНИЛ [14], статистическую обработку – по [15].

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сильная корреляционная зависимость ( $r = 0.73$ ) установлена между величинами урожайности и коэффициенты увлажнения по Иванову в августе–сентябре, т.к. критический период роста сахарной свеклы приходится на август [16]. Корреляция между урожайностью сахарной свеклы и другими погодными факторами составила  $r = 0.26–0.64$ , поэтому годы исследования разделили на 3 группы лет: 1 – коэффициент увлажнения за 2 мес. до уборки культуры составил 0.4, количество осадков за вегетацию – 276 мм, количество лет исследований 10 (1988, 1991, 1994, 1998, 1999, 2004, 2009, 2010, 2014, 2015); 2 – коэффициент увлажнения равен 0.9, количество осадков – 320 мм, 13 лет (1987, 1990, 1993, 1995, 1996, 1997, 2000, 2001, 2005, 2006, 2011); 3 – коэффициент увлажнения равен 1.5, количество осадков –

360 мм, 12 лет (1989, 1992, 2002, 2003, 2007, 2008, 2012, 2013).

При коэффициенте увлажнения 0.4 средняя урожайность составила 24.9 т/га, при коэффициенте увлажнения 0.9–30.8 т/га, или увеличилась на 24%, при коэффициенте увлажнения 1.5–41.2 т/га, или увеличилась на 65% (табл. 1).

При внесении удобрений урожайность сахарной свеклы достоверно увеличивалась в среднем до 37.6 т/га, или на 39%. Безотвальная обработка почвы на 11% снижала урожайность по сравнению с разноглубинной отвальной и комбинированной обработками, в этом случае она составила 33.0–33.8 т/га. Следовательно, обеспеченность растений влагой во второй период вегетации является гарантией существенного увеличения урожайности культуры, о чем сообщалось в работе [17].

Одной из причин изменения урожайности является различное содержание питательных элементов в почве при изменении погодных и агротехнических условий. Содержание нитратного азота в пахотном слое при низком увлажнении почвы после посева составило 6.8–16.7 мг/кг, в середине вегетации сахарной свеклы – 4.3–9.7 мг/кг, перед уборкой – 1.0–4.1 мг/кг (табл. 2).

Больше всего нитратов в весенний период было в варианте безотвальной обработки с применением удобрений. К уборке в почве осталось незначительное количество нитратов – 1.0 мг/кг.

При среднем увлажнении содержание нитратов в почве при посеве увеличивалось в среднем на 45% и составило 10.9–22.5 мг/кг. Большее содержание нитратов было выявлено при комбинированной обработке почвы в удобренном варианте, меньшее – в контроле при разноглубинной отвальной обработке почвы. Безотвальная обработка почвы занимала промежуточное положение. В период завершения вегетации содержание нитратов снижалось до 2.4–8.7 мг/кг. В этом случае большее количество нитратов отмечено при безотвальной обработке почвы в удобренном варианте, а меньшее, как и при весеннем определении, – при разноглубинной отвальной обработке почвы без удобрений.

При коэффициенте 1.5 (высокое увлажнение) без удобрений содержание нитратов в весенний период увеличилось до 12.6–14.8 мг/кг, а при их внесении – до 21.2–33.4 мг/кг. Наибольшее количество нитратного азота отмечали при разноглубинной отвальной обработке почвы. Содержание нитратов в середине вегетации составило 4.3–9.8 мг/кг, что было сопоставимо с показателями при других условиях увлажнения. При уборке ко-

Таблица 1. Урожайность и сахаристость сахарной свеклы

Система		Коэффициент увлажнения			Среднее обработки $HCP_{05} = \frac{1.4}{0.3}$	Среднее удобрения $HCP_{05} = \frac{1.4}{0.3}$
обработки	удобрения	0.4	0.9	1.5		
Разноглубинная отвальная	0	<u>20.7</u> 18.3	<u>27.3</u> 17.4	<u>37.6</u> 16.3	<u>33.8</u> 17.1	<u>27.0</u> 17.3
	НРК	<u>32.5</u> 18.0	<u>36.1</u> 17.0	<u>48.5</u> 16.0		<u>37.6</u> 16.8
Безотвальная	0	<u>18.6</u> 17.9	<u>24.8</u> 17.2	<u>31.9</u> 16.2	<u>31.2</u> 17.0	
	НРК	<u>27.1</u> 17.7	<u>35.0</u> 16.9	<u>43.5</u> 15.9		
Комбинированная	0	<u>19.6</u> 18.2	<u>25.7</u> 17.5	<u>37.2</u> 16.6	<u>33.0</u> 17.2	
	НРК	<u>31.0</u> 18.0	<u>36.0</u> 17.1	<u>48.3</u> 16.1		
Среднее увлажнения $HCP_{05} = \frac{1.4}{0.4}$		<u>24.9</u> 18.0	<u>31.8</u> 17.2	<u>41.2</u> 16.2		
$HCP_{05}$ (частных)	обработки	<u>2.5</u> 0.3				
		удобрений	<u>2.0</u> 0.3			
	увлажнения	<u>2.5</u> 0.3				

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

личество нитратного азота в пахотном слое почвы составило 3.2–4.8 мг/кг, что было в среднем на 23% больше, чем при увлажнении 0.9, и на 78% больше, чем при увлажнении 0.4.

Коэффициент корреляции между содержанием нитратов и коэффициентом увлажнения был равен 0.99, а между урожайностью сахарной свеклы и содержанием нитратов в пахотном слое составил 0.87. Удобрения на 23–78% повышали содержание нитратов в почве.

Содержание подвижного фосфора в почве была более стабильно, чем нитратного азота. Например, при низком увлажнении в начале вегетации содержание элемента в пахотном слое почвы изменялось от 68 до 90 мг/кг, в середине вегетационного периода – от 71 до 95 мг/кг, перед уборкой – от 67 до 80 мг/кг (табл. 3).

При среднем увлажнении содержание подвижного фосфора составило 67–93 мг/кг. Наибольшее содержание элемента было отмечено при применении удобрений, они увеличивали его содержание на 18% по сравнению с контролем. В годы с высоким увлажнением наблюдали уве-

личение содержания подвижного фосфора до 71–119 мг/кг, или в среднем на 28% по сравнению с другими условиями увлажнения. В удобренных вариантах содержание подвижного фосфора увеличивалось на 22–29%, а способ обработки почвы оказывал незначительное влияние.

Содержание обменного калия варьировало в пахотном слое от 84 до 194 мг/кг (табл. 4). При коэффициенте увлажнения 0.4 содержание обменного калия при посеве составляло 84–104, в середине вегетации – 98–121, перед уборкой – 97–119 мг/кг. Эффективность удобрений в увеличении содержания элемента составила при разноглубинной отвальной обработке 3%, при безотвальной – 14%, при комбинированной – 7%. Наибольшее содержание калия было в удобренном варианте с разноглубинной отвальной обработкой в середине вегетации – 121 мг/кг, а перед уборкой – в варианте с безотвальной – 119 мг/кг.

В годы с коэффициентом увлажнения 0.9 содержание обменного калия в пахотном слое почвы составило без удобрений 91–104 мг/кг, в удобренных вариантах – 98–113 мг/кг, или в среднем

**Таблица 2.** Содержание N-NO<sub>3</sub> в свежих образцах в пахотном (0–30 см), и подпахотном (30–50 см) слоях почвы, мг/кг

Система		Коэффициенты увлажнения								
обработки	удобрения	0.4			0.9			1.5		
		май	июль	сентябрь	май	июль	сентябрь	май	июль	сентябрь
Разноглубинная отвальная	0	6.8	5.1	2.2	10.9	3.4	2.4	14.8	5.1	4.2
		5.0	2.6	1.5	7.4	1.6	1.8	12.3	2.6	3.4
	NPK	13.1	5.4	3.0	15.8	6.5	3.0	33.2	5.4	4.8
		12.2	4.2	2.1	10.5	2.5	2.1	24.8	4.2	3.9
Безотвальная	0	7.0	4.3	1.7	12.0	5.5	3.2	12.6	4.3	3.2
		5.4	6.7	0.6	10.3	4.1	2.8	7.6	6.7	1.0
	NPK	16.7	8.0	4.1	20.4	8.7	3.0	21.2	8.0	4.0
		15.8	4.7	3.1	15.1	5.4	2.0	18.6	4.2	3.8
Комбинированная	0	10.2	6.1	1.5	12.7	5.1	2.6	14.4	6.1	3.7
		7.7	4.8	1.2	10.0	4.1	2.2	13.9	4.8	2.9
	NPK	12.6	9.7	1.0	22.5	8.8	2.4	22.8	9.8	4.2
		10.9	3.9	1.7	15.0	4.2	1.8	19.8	3.9	3.8

Примечание. Над чертой – пахотный, под чертой – подпахотный слой. То же в табл. 3, 4.

**Таблица 3.** Содержание подвижного фосфора в пахотном (0–30 см), и подпахотном (30–50 см) слоях почвы, мг/кг

Система		Коэффициенты увлажнения								
обработки	удобрения	0.4			0.9			1.5		
		май	июль	сентябрь	май	июль	сентябрь	май	июль	сентябрь
Разноглубинная отвальная	0	87	71	78	75	76	80	94	99	91
		64	54	63	63	64	65	74	77	77
	NPK	79	95	77	90	87	81	119	112	99
		59	71	60	74	64	64	80	73	72
Безотвальная	0	68	81	67	80	76	74	88	88	79
		56	62	52	60	65	61	67	63	57
	NPK	90	86	80	93	82	75	119	119	100
		61	68	59	62	61	60	80	81	58
Комбинированная	0	77	81	67	81	75	67	92	93	71
		58	66	56	60	63	60	71	72	60
	NPK	88	94	71	91	80	85	115	110	109
		68	72	52	62	60	58	84	71	66

эффективность удобрений составила 10%. Наибольшая эффективность удобрений была выявлена при безотвальной обработке почвы – 14%.

При высоком увлажнении содержание обменного калия при посеве составило 136–194, в середине вегетации – 94–146, перед уборкой – 146–188 мг/кг или, в среднем увеличилось на 44%.

Наибольшее содержание элемента было в удобренных вариантах при разноглубинной от-

вальной и безотвальной обработках, однако эффективность удобрений в увеличении содержания обменного калия была больше при безотвальной обработке почвы – 29%. Между содержанием обменного калия в почве и коэффициентом увлажнения корреляция составила  $r = 0.87$ .

Такие же закономерности в изменении содержания питательных веществ в пахотном слое почвы были характерны и для подпахотного слоя, но

**Таблица 4.** Содержание обменного калия в пахотном (0–30 см) и подпахотном (30–50 см) слоях почвы, мг/кг

Система		Коэффициенты увлажнения								
обработки	удобрения	0.4			0.9			1.5		
		май	июль	сентябрь	май	июль	сентябрь	май	июль	сентябрь
Разноглубинная отвальная	0	92	119	103	98	96	104	171	136	155
		82	106	91	81	88	86	155	115	146
	NPK	91	121	111	98	113	106	194	145	156
		79	103	82	81	95	93	128	107	123
Безотвальная	0	84	100	97	91	93	100	136	99	136
		74	91	78	71	85	83	122	81	121
	NPK	95	108	119	111	109	104	169	122	188
		69	86	96	73	85	83	136	100	136
Комбинированная	0	95	98	100	96	92	100	136	94	146
		78	88	81	79	92	91	127	89	122
	NPK	104	104	106	102	108	105	172	118	170
		78	98	86	79	104	88	156	89	124

**Таблица 5.** Градиент снижения содержания питательных элементов в черноземе выщелоченном, слой 15–30 см к слою 0–15 см при различной увлажненности, способах обработки почвы и удобрении

Системы		N-NO <sub>3</sub> в свежих образцах						P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>						K <sub>2</sub> O					
обработки	удобрения	0.4		0.9		1.5		0.4		0.9		1.5		0.4		0.9		1.5	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Разноглубинная отвальная	0	1.2	22	1.0	16	1.0	13	9	11	9	11	15	15	7	6	12	11	–	–
	NPK	0.9	26	2.8	31	2.5	16	9	10	7	8	26	21	13	11	13	13	20	12
Безотвальная	0	1.3	23	1.0	14	1.7	24	9	11	9	11	18	19	7	7	12	11	26	20
	NPK	2.1	17	4.6	35	1.6	13	15	17	21	22	35	27	23	19	27	22	36	20
Комбинированная	0	1.6	15	0.4	5	0.6	7	9	11	13	14	12	13	7	7	7	7	15	11
	NPK	0.9	8	1.2	10	3.0	22	13	14	18	20	17	14	11	10	2	2	30	18
Среднее обработок			20		19		16		12		14		18		10		11		15

Примечание. В графе 1 – мг/кг, 2 – %.

их количество было значительно меньше, о чем свидетельствуют многочисленные исследования [18–20].

Для оценки дифференциации пахотного слоя был рассчитан градиент снижения содержания питательных элементов по почвенному горизонту в абсолютных и относительных величинах по их среднему содержанию за вегетацию. Изменение градиента зависело от изученных факторов. Например, при разноглубинной отвальной обработке без удобрений градиент снижения содержания нитратного азота в пахотном слое составил 1.0–1.2 мг/кг, при применении удобрений – 0.9–2.8 мг/кг, или соответственно 13–22 и 16–31% (табл. 5), следовательно, удобрения увеличивали

дифференциацию содержания элемента в профиле почвы.

Наибольшим градиентом снижения содержания нитратного азота характеризовался вариант безотвальной обработки почвы 1.0–4.6 мг/кг (13–35%), а наименьшим – вариант комбинированной обработки – 0.4–3.0 мг/кг (8–22%). При разноглубинной отвальной обработке градиент снижения содержания нитратного азота составил 19, при безотвальной – 21, при комбинированной – 10%.

Условия увлажнения неоднозначно влияли на дифференциацию содержания нитратного азота. Например, в удобренном варианте при комбинированной обработке и низком увлажнении градиент снижения составил 0.9 мг/кг; при среднем

увлажнении – 1,2, при высоком – 3,0 мг/кг, или 8, 10 и 22%, а при безотвальной обработке – 2,1, 4,6, 1,6 мг/кг и 17, 35, 13% соответственно. Большая дифференциация была характерна для низкого и среднего увлажнения (0,5–4,6 мг/кг), меньшая – для высокого (0,6–3,0 мг/кг).

Градиент снижения содержания подвижного фосфора составил 7–35 мг/кг. При применении удобрений дифференциация содержания подвижного фосфора усиливалась до 2-х раз. При комбинированной обработке почвы и низком увлажнении без удобрений градиент снижения содержания подвижного фосфора составил 9 мг/кг, при применении удобрений – 13 мг/кг, при применении разноглубинной и отвальной обработок – 9 и 26 мг/кг соответственно. Установлено, что безотвальная обработка почвы усиливала дифференциацию по содержанию элемента в почве по сравнению с другими видами обработок. При низком и среднем увлажнении дифференциация составила 9–21, при высоком увлажнении – 18–35 мг/кг. При разноглубинной отвальной обработке градиент снижения содержания подвижного фосфора уменьшался при низком увлажнении до 7–8 и до 15–26 мг/кг – при среднем увлажнении, при комбинированной обработке – до 9–20 и 12–17 мг/кг соответственно.

При высоком увлажнении градиент снижения содержания подвижного фосфора составил 15–36 мг/кг, следовательно, чем влажнее был год, тем больше была дифференциация содержания элемента в почвенном профиле.

При изменении содержания обменного калия в пахотном слое почвы изменялась его дифференциация. Например, при низком увлажнении градиент снижения содержания элемента для пахотного слоя почвы составил 7–23 мг/кг, при среднем – 3–27% и 0–36 мг/кг – при высоком увлажнении.

Наиболее высокий градиент снижения содержания обменного калия был при высоком увлажнении при безотвальной обработке почвы в удобренном варианте. Самая низкая дифференциация по содержанию обменного калия отмечена при разноглубинной отвальной обработке почвы без удобрений.

Расчет градиента снижения содержания элементов относительно верхнего слоя почвы (в %) дал возможность сравнить различия дифференциации слоев между элементами питания. Расчеты показали неоднозначное влияние условий увлажнения на данный показатель. Дифференциация пахотного слоя по содержанию нитратного азота в свежих образцах составляла при низком

увлажнении 15–28, при среднем – 8–35, при высоком – 7–24%, по содержанию подвижного фосфора – 10–16, 8–22, 13–27%, по содержанию обменного калия – 7–19, 2–22 и 15–36% соответственно. Следовательно, в большей мере дифференциации было подвержено содержание нитратного азота, в меньшей – подвижного фосфора в почве.

На качество свекловичного сырья влияют как агротехнические, так и погодные условия [21]. Установлено, что хотя наибольшая сахаристость сахарной свеклы была отмечена при низком увлажнении (17,7–18,3%), но содержание сухого вещества при таком увлажнении составило 64,1–66,9%, что меньше, чем при среднем увлажнении (67,3–70,0%) (табл. 6). 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 привело 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%). 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 выявлен 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.

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

Таблица 6. Технологическое качество корнеплодов сахарной свеклы

$K_{ув}$	Система		Сахаристость, % к сухому веществу	Растворимые вещества	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	Разноглубин- ная отвальная	0	66.8	0.32	0.22	0.51	89.5	3.2	14.1	2.9	77.0
		НРК	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
		НРК	64.1	0.45	0.27	0.56	89.4	4.0	12.7	3.4	71.8
	Комбиниро- ванная	0	66.9	0.32	0.23	0.54	90.4	3.1	14.1	2.7	77.5
		НРК	66.7	0.41	0.22	0.58	88.8	3.4	13.6	4.2	75.6
0.9	Разноглубин- ная отвальная	0	68.5	0.09	0.31	0.35	93.0	1.9	14.5	4.0	83.3
		НРК	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
		НРК	67.3	0.14	0.34	0.35	92.4	2.1	13.8	4.8	81.7
	Комбиниро- ванная	0	70.0	0.08	0.30	0.32	92.8	1.8	14.7	3.8	84.0
		НРК	68.7	0.10	0.41	0.37	91.5	1.9	14.2	5.1	83.0
1.5	Разноглубин- ная отвальная	0	66.0	0.16	0.37	0.28	91.9	2.3	13.0	4.9	79.8
		НРК	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
		НРК	64.4	0.19	0.39	0.35	91.2	2.8	12.1	5.3	76.1
	Комбиниро- ванная	0	66.9	0.14	0.32	0.29	92.0	2.3	13.3	4.9	80.1
		НРК	65.4	0.15	0.39	0.31	91.5	2.5	12.6	6.1	78.2

было характерно для низкой увлажненности и при 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 отмечен при внесении удобрений, комбинированной обработке и высоком увлажнении.

Коэффициент энергетической эффективности возделывания сахарной свеклы изменялся от 2.5 до 6.1. Установлено, что чем больше коэффициент увлажнения, тем выше была энергетическая эффективность. Например, при комбинированной обработке почвы без удобрений коэффициент энергетической эффективности при низком увлажнении составил 3.6, среднем – 4.2, высоком – 6.1. При применении удобрений коэффициент энергетической эффективности снижался на 4–29%.

## ВЫВОДЫ

1. Определены 3 группы лет для сахарной свеклы по коэффициенту увлажнения: первая ( $K_{ув} = 0.4$ ), урожайность – 24.2 т/га, эффективность удобрений – 50%; вторая ( $K_{ув} = 0.9$ ), урожайность – 34.5 т/га, эффективность удобрений – 41%; третья ( $K_{ув} = 1.5$ ), урожайность – 41.5 т/га, эффективность удобрений – 34%.

2. При внесении удобрений и высоком увлажнении до 2-х раз и больше увеличивалось содержание в почве  $N-NO_3$  в свежих образцах (с 6.8 до 33.2 мг/кг),  $P_2O_5$  (с 68 до 119 мг/кг) и  $K_2O$  (с 84 до 172 мг/кг). Разноглубинная отвальная обработка в большей степени, чем другие обработки, способствовала увеличению содержания  $N-NO_3$  в свежих образцах почвы. В этом случае выявлены тенденции к повышению содержания  $P_2O_5$  и  $K_2O$ .

3. При безотвальной обработке почвы дифференциация по содержанию нитратного азота, обменного калия, подвижного фосфора по профилю почвы увеличивалась на 27–48% по сравнению с отвальной и комбинированной обработками. Применение удобрений увеличивало этот показатель, в среднем на 25%. С повышением увлажнения дифференциация слоев почвы по содержанию подвижного фосфора и обменного калия увеличивалась на 3–7%. Большому неравномерному распределению по пахотному слою было подвержено содержание нитратного азота в свежих образцах, меньшему – обменного калия.

4. Урожайность сахарной свеклы при отвальной и комбинированной обработках с внесением удобрений во влажные годы была самой высокой – 48.3–48.5 т/га, что на 12% больше, чем при безотвальной обработке, и на 39% больше, чем без удобрений.

5. Влияние обработки почвы на сахаристость сахарной свеклы было незначительным, при внесении удобрений она снижалась на 0.2–0.5%, при увеличении увлажнения снижение составило 0.7–2.0%.

6. Лучшие технологические качества (доброкачественность очищенного сока 92.8–93.0%, низкие потери сахара 1.8–2.0%, высокий коэффициент его извлечения 83.0–84.0%) свекловичного сырья были отмечены при коэффициенте увлажнения 0.9 и комбинированной обработке почвы. При применении удобрений качество сырья ухудшалось, однако с увеличением увлажнения урожайность увеличивалась, и как следствие, увеличивался выход сахара с единицы площади при переработке.

7. Наибольший сбор сахара 7.6–7.7 т/га установлен при разноглубинной отвальной и комбинированной обработках с внесением удобрений и высоким увлажнением. При безотвальной обработке сбор сахара снижался в среднем на 11%, без применения удобрений – на 37%, в годы с низкой увлажненностью – на 47%.

8. Высокий коэффициент энергетической эффективности (4.5–4.6) возделывания сахарной свеклы отмечен при комбинированной и разноглубинной отвальной обработках почвы, высоким увлажнением и внесении удобрений. Без удобрений эффективность 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. *Фрид А.С.* К вопросу об ошибке средних многолетних показателей полевых опытов // Агрохимия. 2001. № 5. С. 76–80.
3. *Гармашов В.М.* Обработка почвы как прием повышения эффективности использования почвенно-климатического потенциала // Докучаевское наследие: итоги и перспективы научного земледелия в России: Сб. докл. Междунар. научн.-практ. конф. Воронеж: Истоки, 2012. С. 119–126.
4. *Вислобокова Л.Н., Скорочкин Ю.П., Воронцов В.А.* Энергосберегающие приемы систем земледелия Тамбовской области // Научно-практические основы энерго- и ресурсосбережения в адаптивно-ландшафтных системах земледелия Центрального



- Черноземья: Мат-лы засед. совета по земледелию ЦЧЗ. Воронеж: Истоки, 2010. С. 24–29.
5. *Никульников И.М., Боронтов О.К., Никульников М.И.* Влияние системы удобрений и обработки почвы на питательный режим чернозема выщелоченного и урожайность сахарной свеклы // *Агротехника*. 2005. № 3. С. 15–21.
  6. *Трофимова Т.А.* Научные основы совершенствования основной обработки и регулирование плодородия почв в ЦЧР: Автореф. дис. ... д-ра с-х. наук. Воронеж: ВГАУ, 2014. 47 с.
  7. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Воронежской области / Под ред. А.В. Гордеева. Воронеж: Квадра, 2013. 446 с.
  8. *Дегтярева Г.В.* Некоторые агрометеорологические аспекты повышения эффективности удобрений в Поволжье // *Бюл. ВИУА*. 1985. № 72. С. 52–54.
  9. *Мозговой А.И.* Влияние погодных условий на эффективность удобрений на выщелоченном черноземе Центрально-Черноземной полосы // Там же. С. 54–58.
  10. *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.*
  11. *Щеглов Д.И., Громовик А.И., Горбунова Н.С.* Основы химического анализа почв: учеб. пособ. Воронеж: Издат. дом ВГУ, 2019. 332 с.
  12. *Барштейн Л.А., Гизбуллин Н.Г.* Методика исследований по сахарной свекле. Киев: ВНИС, 1986. 262 с.
  13. *Лосева В.А., Ефремов А.А., Квитко И.В.* Методы исследования свойств сырья и готовой продукции (теория и практика). Воронеж: ВГТА, 2008. 247 с.
  14. Методические рекомендации по энергетической оценке систем и приемов обработки почвы. М.: ВАСХНИЛ, 1989. 30 с.
  15. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 414 с.
  16. *Орловский Н.И.* Основы биологии сахарной свеклы. Киев: Госсельхозиздат УССР, 1961. 324 с.
  17. *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 внесении удобрений в севообороте // *Почвоведение*. 2005. № 1. С. 113–121.
  18. *Картамышев Н.И., Герасимов М.Н.* Вновь о дифференциации корнеобитаемого слоя // *Земледелие*. 1989. № 5. С. 33–35.
  19. *Пестряков А.М.* Дифференциация слоев пахотного горизонта по плодородию под действием систем обработки почвы // *Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: Сб. научн. докл. Международ. научн.-практ. конф. Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2008. С. 575–577.*
  20. *Боронтов О.К., Косякин П.А., Елфимов М.Н., Манаenkova Е.Н.* О дифференциации пахотного слоя при различных системах основной обработки почвы // *Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия: Сб. науч. докл. Международ. научн.-практ. конф. Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2013. С. 25–27.*
  21. *Никитин В.В., Соловichenko В.Д., Ступаков А.Г., Навальнева 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.

## Content of Nutrients in the Alkaline Chernozem, Depending on the Agrotechnical and Suitable Conditions of Sugar Beet Cultivation in the Central Black Earth Region

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

<sup>a</sup>*A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute for Sugar beet and Sugar VNIISS 86, Voronezh region 396030, Russia*

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

It is shown that with an increase in moisture (according to Ivanov) and the introduction of fertilizers, the content of nutrients and differentiation of the arable layer of leached black soil increased. The increase in the content of nutrients in the soil was facilitated by multi-depth dump treatment in the crop rotation, and the increase in differentiation was non-dump. The highest productivity (48.3–48.5 t/ha) of sugar beet was established with multi-depth rolling and combined tillage in crop rotation, fertilization and high moisture. The share of the influence of weather conditions on crop yield was 51, fertilizers – 30, tillage – 3%.

*Key words:* sugar beet, basic tillage, fertilizers, weather conditions, agricultural machinery, leached chernozem, nutrient elements, yield, technological qualities.