

УДК 631.81.095.337:546.27:633.63

## АГРОХИМИЧЕСКАЯ И АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БОРНЫХ УДОБРЕНИЙ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ ПОД САХАРНУЮ СВЕКЛУ (*Beta vulgaris* L. var. *sacharifera* Alef.)

© 2019 г. А. Н. Аристархов<sup>1,\*</sup>, Т. А. Яковлева<sup>1</sup><sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова  
127550 Москва, ул. Прянишникова, д. 31а, Россия

\*E-mail: an.aristah@mail.ru

Поступила в редакцию 15.06.2018 г.

После доработки 15.10.2018 г.

Принята к публикации 12.11.2018 г.

На основе многолетних данных массовых полевых опытов (>450 опыто-лет наблюдений) показано, что прибавки урожайности корнеплодов сахарной свеклы от борных удобрений практически значимы (до 25–60 ц/га), но они существенно варьировали в зависимости от почвенно-климатических условий ее возделывания, агрохимических свойств почв, способов и доз использованного борного удобрения. Установлено, что на почвах дерново-подзолистых, серых лесных, черноземах оподзоленных приоритетным способом применения бора является основной (в почву), а при возделывании сахарной свеклы на черноземах типичных и каштановых (при орошении) приоритетными являются экономичные способы – обработка семян и некорневые подкормки; на черноземах выщелоченных – все способы практически равнозначны. Борные удобрения способствуют повышению сахаристости: при их основном внесении – на 0.7–1.4%, при некорневых подкормках – на 0.3–0.9% и при обработке семян бором – на 0.5–0.8%. Борные удобрения очень высоко окупаются прибавками урожая и способствуют повышению окупаемости традиционных NPK-удобрений на 40–60%.

**Ключевые слова:** агрохимическая и агроэкономическая эффективность, борные удобрения, сахарная свекла (*Beta vulgaris* L. var. *sacharifera* Alef.).

DOI: 10.1134/S0002188119020030

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время твердо установлено, что в отсутствие целевого применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры потери их урожая достигают не менее 10–15%, а в ряде случаев и более [1–5]. Сахарная свекла в процессе своего роста и развития требует довольно большое количество не только основных (NPK) питательных веществ, но и микроэлементов. Например, общее потребление бора сахарной свеклой при выращивании даже только средних и повышенных урожаев (250–500 ц/га) достигает 150–250 г/га [6]. Ранее установлено, что наибольшая потребность культур в микроэлементах проявляется на фоне оптимального удовлетворения потребности растений в азоте, фосфоре и калии. Сахарная свекла очень чувствительна к почвенной кислотности и при ее возделывании на кислых почвах требуется проводить известкование. Однако этот прием снижает подвижность в почве ряда микроэлементов (B, Zn, Cu, Mn), что требует дополнительного целенаправленного приме-

нения микроудобрений [1, 6–10]. В опытах [6] на дерново-подзолистых почвах при внесении бора в почву в дозах 0.5–1.0 кг/га на фоне N90P90K120 + + известь по 1 Н<sub>г</sub> прибавки урожая корнеплодов изученной культуры достигал 62–64 ц/га (20–24% от фона), их сахаристость возрастала на 1.3–1.6%. Исследованиями на черноземных почвах Харьковской обл. показано, что подкормки сахарной свеклы растворами микроэлементов в концентрации 0.01% д.в. (B, Mn, Zn, Cu) повышали накопление сахаров в ее корнеплодах на 0.9–1.9%, а в отдельных случаях – даже на 3.5% [11]. В многолетних полевых опытах на оподзоленном черноземе Уманского сельскохозяйственного института (Украина) показана высокая эффективность предпосевного опудривания семян сахарной свеклы (50 г д.в./ц семян) комплексом микроэлементов (B, Zn, Mn, Cu и Co) [12]. Увеличение сахаристости корнеплодов от применения микроудобрений относительно фона составляло не менее 0.9–1.2%. Следовательно, однозначно показано, что комплексное приме-

ние макро- и микроудобрений под сахарную свеклу достаточно перспективно.

Вместе с этим установлено, что при росте урожайности корнеплодов в условиях производства отмечали снижение их сахаристости: например, в среднем в 2008–2009 гг. она составляла 17.4%, в 2010 г. – 16.6, в 2011 г. – 16.0, а в 2012 г. – 15.5%, а средний выход сахара на заводах Российской Федерации был еще меньше: в 2008–2009 гг. – 14.7%, в 2010 г. – 13.6, в 2011 г. – 13.0, в 2012 г. – 12.5% [13]. Однако уже в большом числе хозяйств при благоприятных природно-климатических условиях и высокой культуре земледелия (при интенсивном комплексном применении удобрений) в настоящее время получают урожаи сахарной свеклы достаточно высокого порядка (500–600 ц/га и более) с хорошим качеством продукции [3, 14]. Например, в Госплемзаводе-колхозе “Россия” Ставропольского края в 2014–2016 гг. урожайность культуры составила 793–886 ц/га на площади посева 526–657 га с ежегодным валовым сбором продукции (корнеплодов) 417–539 тыс. т [14]. Следовательно, при возделывании сахарной свеклы в условиях производства имеются существенные резервы повышения ее продуктивности. К их числу следует отнести и организацию научно обоснованного применения борных микроудобрений. Большой пласт экспериментальных исследований по этому вопросу накоплен в системе научно-исследовательских учреждений и Государственной агрохимической службы страны. Однако он недостаточно обобщен и проанализирован, особенно в выявлении приоритетных способов применения микроудобрений на различных типах почв.

Цель работы – используя данные массовых полевых опытов, дать сравнительную агрохимическую и агроэкономическую оценку эффективности различных способов применения борных удобрений под сахарную свеклу в основных зонах ее возделывания.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили путем обобщения экспериментальных данных, полученных в массовых краткосрочных полевых опытах агрохимической службы, научно-исследовательских учреждений и материалов, опубликованных в открытой печати (монографии, сборники, статьи в журналах) за 3 последних десятилетия. Это позволило проанализировать значительное количество материала, который охватывает широкий спектр различных типов почв, большой диапазон доз и различных способов применения борных микроудобрений в

зональном аспекте. В результате исследования была создана база данных полевых опытов по эффективности различных способов применения борных микроудобрений под изученную культуру, в том числе проанализировано: по основному способу (в почву) – >250 опыто-лет наблюдений, по некорневым подкормкам – ≈100, по предпосевной обработке – 110, всего – порядка 460 опыто-лет наблюдений.

Анализ почв выполняли по соответствующим методикам, принятым в качестве ГОСТов, ОСТов в агрохимической службе [15–20]. Группировку почв по агрохимическим показателям проводили на основе работы [20]. Анализ почв и растений на содержание микроэлементов проведены по методикам анализа, изложенным в [21].

Дозы фоновых удобрений (NPK) в опытах преимущественно менялись в пределах 90–120 кг/га каждого вида, и в целом они не ограничивали эффективность действия примененных микроудобрений. При основном внесении борных удобрений преобладали борная кислота, борнодатовое удобрение, борный суперфосфат, борат магния. При экономичных способах использовали только водорастворимые формы микроудобрений ( $H_3BO_3$ , 17.3% В; бура  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ , 11.3% В). При предпосевной обработке семян учитывали все основные способы его использования – опыливание, опрыскивание, замачивание. Оценку того или иного способа обработки семян проводили как по материалам конкретных экспериментальных данных, так и на основе ранее изданных методических разработок [22–25].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Эффективность применения основного способа применения (в почву) борных удобрений.* Результаты обобщения и анализа выборки полевых опытов по эффективности основного (внесение в почву) способа применения борных удобрений свидетельствовали о производственно значимых прибавках урожайности сахарной свеклы: на дерново-подзолистых почвах – от 16 до 75 ц/га, на серых лесных – от 20 до 61, на оподзоленных черноземах – от 10 до 60, на лугово-черноземных почвах – от 14 до 70, на черноземах выщелоченных – от 10 до 62, на обыкновенных и типичных черноземах – от 20 до 82 и на каштановых почвах при орошении – от 26 до 70 ц/га.

Установлено, что среди агрохимических показателей практически всех типов почв, влияющих на повышение эффективности применения бора на фоне NPK под сахарную свеклу, наиболее чет-

ко прослежены такие как улучшение гумусового состояния почв, их кислотности и фосфатного режима, а также оптимизация доз применения борных удобрений.

*Гумус.* Исследованиями выявлено (табл. 1), что при увеличении содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах с 1.1 до 3.0% прибавки урожайности корнеплодов сахарной свеклы от применения борных удобрений возрастали с 25 до 45 ц/га, в серых лесных почвах при увеличении содержания гумуса с 3.0 до 3.8% – с 13 до 32 ц/га, в черноземах оподзоленных и лугово-черноземных оподзоленных при изменении содержания гумуса с 3–6 до 6–7% – с 30–32 до 45–66 ц/га, в черноземах выщелоченных – с 24 до 29 ц/га, черноземах обыкновенных и типичных – с 21 до 29–36 ц/га. В условиях орошения во всех подтипах каштановых почв (темно-каштановые, светло-каштановые и каштановые) при изменении содержания гумуса с <2.0 до 3.0–4.0% прибавки урожайности устойчиво возрастали с 21 до 33–44 ц/га. Таким образом, при выборе площадей пахотных почв для посадки сахарной свеклы с целью получения наибольшей эффективности от применения борных удобрений при внесении их основным способом (в почву) предпочтение следует отдавать почвам, имеющим наибольшие показатели содержания гумуса.

*Кислотность почв.* Оптимизация реакции почвенной среды при возделывании сахарной свеклы является одним из решающих факторов эффективного использования борных удобрений. Например, при изменении pH с 5.0 до 6.0–7.0 на дерново-подзолистых почвах прибавки урожайности сахарной свеклы в среднем возрастали с 23 до 34–36 ц/га, а на серых лесных почвах, черноземах оподзоленных и лугово-черноземных оподзоленных – с 20–26 до 38–46 ц/га. На выщелоченных, обыкновенных и типичных черноземах при изменении величин pH почв в пределах их нейтрального показателя таких изменений не отмечено. Однако при подщелачивании почв, особенно каштановых, установлена тенденция к снижению прибавок урожайности с 36 (при pH < 7.6) до 21 ц/га (при pH 8.0 и более). Это происходило не только в богарных условиях (по данным единичных опытов), но и в условиях орошения.

*Содержание подвижного фосфора.* Установлено, что увеличение содержания подвижного фосфора во всех типах изученных почв способствовало повышению эффективности борных удобрений на фоне НРК, внесенных основным способом (табл. 1). Например, при изменении содержания подвижного фосфора с 20–50 до 80 и более мг/кг на лег-

ких дерново-подзолистых почвах прибавки урожайности корнеплодов сахарной свеклы возрастали с 40–42 до 61 ц/га. Достаточно велика роль улучшения фосфатного режима почв при возделывании свеклы на лугово-черноземных оподзоленных почвах, где в массовых опытах (порядка 37 опыто-лет наблюдений) отмечено увеличение прибавок урожайности корнеплодов до 55 ц/га при содержании фосфатов в почве 100–145 мг/кг против прибавки урожайности 25 ц/га при низком содержании фосфатов (<25 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг). Возделывание свеклы на черноземах обыкновенных и типичных также характеризуется повышением эффективности борных удобрений при увеличении содержания фосфора в этих почвах с низкого до среднего и высокого уровня. На каштановых почвах в условиях орошения основное большинство исследований проведено на почвах со средним и повышенным содержанием подвижного фосфора, и изменений эффективности борных удобрений в этих условиях не установлено. В целом можно констатировать, что общий тренд влияния фосфатного фонда почв на эффективность применения борных удобрений для большинства изученных типов почв является взаимосвязанным.

*Содержание подвижного калия.* Характер выявленных связей между эффективностью борных удобрений и содержанием подвижного калия под сахарную свеклу на различных типах почв достаточно неоднозначен (табл. 1). Выявили, что содержание подвижного калия изменяется в достаточно широком диапазоне в дерново-подзолистых, серых лесных, черноземах оподзоленных и выщелоченных: соответственно 20–70, 120–230, 30–90, 100–187 мг/кг, и оно на эффективность применения борных удобрений не влияет. При всех изученных уровнях содержания калия в почвах прибавки урожайности корнеплодов свеклы были примерно одинаковыми и соответственно вышеназванным почвам составляли: 31–33, 26–30, 26–28, 25–31 ц/га. На других типах почв – черноземах типичных и обыкновенных, лугово-черноземных оподзоленных установлено положительное влияние улучшения калийного режима почв на повышение эффективности применения борных удобрений под сахарную свеклу.

*Содержание подвижного бора.* В нашем исследовании проследить взаимосвязи между различным содержанием бора в почвах и эффективностью борных удобрений в полном объеме проследить не удалось. Вместе с этим для некоторых типов почв достаточно четко установлено, что борные удобрения на почвах с низким содержа-

**Таблица 1.** Влияние основных агрохимических свойств различных типов почв на изменчивость прибавок урожайности сахарной свеклы при основном применении (в почву) борных микроудобрений

Гумус		рН		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
1	2	1	2	1	2	1	2
Дерново-подзолистые почвы (17–20)*							
1.1–2.1	25	<5.0	23	<20	40	<20	33
2.2–2.5	40	5.1–6.0	34	21–50	42	21–30	33
2.6–3.0	45	6.1–7.0	36	51–80	61	31–70	31
Серые лесные почвы (24–35)*							
<3.0	13	<5.5	22	<60	27	<120	26
3.1–3.5	27	5.6–6.0	32	61–100	31	121–150	27
3.6–3.8	32	>6.0	38	101–175	30	151–230	30
Черноземы оподзоленные (14–17)*							
<6.0	32	<5.5	26	<130	27	<30	26
>6.0	45	5.6–6.0	34	131–240	30	31–90	28
–	–	>6.0	28	–	–	–	–
Лугово-черноземные оподзоленные (27–37)*							
<3.0	30	<5.5	20	<25	25	<70	25
3.1–4.2	66	5.6–5.8	46	100–145	55	71–100	25
Черноземы выщелоченные (43–50)*							
<6.0	24	<5.0	27	<60	25	<100	25
6.1–7.0	29	5.1–5.5	29	61–100	29	101–150	31
7.1–7.4	28	5.6–6.4	28	101–150	34	151–187	29
–	–	–	–	>151	42	–	–
Черноземы обыкновенные и типичные (31–48)*							
<5.0	32	<6.5	28	<60	26	<150	19
5.1–6.0	36	6.6–7.0	33	61–100	43	151–200	41
6.1–8.0	29	7.1–7.7	34	101–200	33	251–400	48
Каштановые почвы при орошении (14–17)*							
<2.0	21	<7.6	36	<20	26	<40	26
2.1–3.0	44	7.7–8.0	21	>20	28	50–100	35
3.1–4.1	33	–	–	–	–	–	–

Примечание. В графе 1 – содержание или величина показателя (%; ед. рН, мг/кг); 2 – прибавка урожайности от В, ц/га.

\* В скобках указано число опыто-лет наблюдений. То же в табл. 2–5, 7–9.

нием бора обеспечивали получение стабильно высоких прибавок урожайности корнеплодов (табл. 2): на дерново-подзолистых почвах – 19–44 ц/га, на серых лесных – 25–29, на черноземах оподзоленных – 32–34, на лугово-черноземных оподзоленных – 31–39, на обыкновенных и типичных – 25–32, на каштановых почвах при орошении – 41–45 ц/га. Кроме этого на черноземах

выщелоченных, обыкновенных и типичных в целой серии опытов эффективность борных удобрений под сахарную свеклу была изучена и на почвах со средней и высокой обеспеченностью этим микроэлементом. В этих опытах выявлена тенденция к снижению эффективности борных удобрений под сахарную свеклу при повышении содержания бора от низкого до среднего и высокого.

**Таблица 2.** Влияние различных уровней содержания подвижного бора в почвах и доз борных удобрений на изменчивость прироста урожая сахарной свеклы от борных удобрений при их основном внесении (в почву)

Бор в почве		Борные микроудобрения	
содержание, мг/кг	прибавка урожайности от В, ц/га	дозы, кг/га	прибавка урожайности от В, ц/га
Дерново-подзолистые почвы (17–20)*			
<0.14	19	<0.5	34
0.15–0.22	43	1.0–1.4	38
0.23–0.40	44	1.5–2.0	51
Серые лесные почвы (24–35)*			
<0.20	29	<0.5	20
0.21–0.30	25	1.0–1.4	26
0.31–0.36	27	1.5–2.0	37
Черноземы оподзоленные (14–17)*			
<0.30	32	<1.0	26
0.31–0.41	34	1.1–2.0	32
Лугово-черноземные оподзоленные (27–37)*			
<0.33	39	<0.5	30
0.38	31	0.6–1.2	37
>0.50	–	1.3–2.0	37
Черноземы выщелоченные (43–50)*			
<0.30	28	<0.5	17
0.31–1.34	25	0.6–1.0	28
1.35–1.86	25	1.1–2.0	26
–	–	2.1–3.0	20
Черноземы обыкновенные и типичные (31–48)*			
<0.33	32	<1.0	31
0.34–0.75	32	1.1–1.5	32
0.76–1.50	25	1.6–2.0	39
–	–	2.1–3.0	24
–	–	3.1–5.0	25
Каштановые почвы при орошении (14–17)*			
<0.30	45	<1.0	28
0.30–0.60	41	1.1–1.5	25
–	–	1.6–2.0	39

Дозы борных удобрений при их основном внесении. В базе данных по изучению эффективности борных удобрений под сахарную свеклу на большинстве основных типов почв собраны материалы как об основных формах удобрений, так и типичный диапазон изученных доз бора (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 и 5.0 кг/га). Установлено, что все формы борных удобрений (борная кислота, борный суперфосфат, борат магния и др.) по эффективности действия на прибавку урожайности сахарной свеклы действовали практически одинаково. Влияние на этот показатель их различных доз имело существенное различие. Установлено,

что под сахарную свеклу на большинстве типов почв в зонах возделывания из наиболее широко изученных под нее доз бора (0.5, 1.0, 1.5 и 2.0) наибольшие прибавки урожайности корнеплодов обеспечивались дозой 2.0 кг д.в./га: на дерново-подзолистых почвах – 51 ц/га, на серых лесных – 37, на черноземах оподзоленных – 32, на черноземах обыкновенных и типичных – 38 и на каштановых почвах при орошении – 39 ц/га. На черноземах выщелоченных, обыкновенных и типичных, на которых изучали более широкий диапазон доз борных удобрений (от 0.5 до 3.0 кг В/га) выявлено, что дозы бора под сахарную свеклу >3.0 кг/га применять

**Таблица 3.** Влияние основного внесения (в почву) борных удобрений на содержание сахара в сахарной свекле и его сбор с урожаем на различных типах почв

Вариант (доза NPK, кг д.в./га; доза В, кг/га)	Урожайность корнеплодов	Прибавка урожайности к фону от В	Содержание сахаров в корнеплодах	
	ц/га		общий, %/прибавка от бора, %	сбор сахара, ц/га/прибавка от бора, ц/га
Дерново-подзолистые почвы (27)*				
(NPK)90–120 (фон)	323	–	17.0	54.9
Фон + В 0.5–2.0	353	30	17.5/0.5	61.8/6.9
Серые лесные почвы (42)*				
(NPK)90–120 (фон)	338	–	17.4	58.8
Фон + В 0.4–1.5	359	21	18.1/0.7	65.0/6.2
Черноземы оподзоленные (39)*				
(NPK)120–180 (фон)	330	–	16.6	54.5
Фон + В 0.3–2.0	346	16	17.3/0.7	59.9/5.4
Лугово-черноземные оподзоленные (110)*				
(NPK)20–120 + навоз 20 т/га (фон)	488	–	17.2	83.9
Фон + В 0.2–2.0	526	38	17.8/0.6	93.6/9.7
Черноземы выщелоченные (51)*				
(NPK)60–220 (фон)	271	–	17.1	46.3
Фон + В 0.5–2.0	287	16	17.5/0.4	50.2/5.0
Черноземы обыкновенные (36)*				
(NPK)60–120 – фон	270	–	14.9	40.2
Фон + В 1.0–4.5	337	67	15.1/0.2	50.9/10.7
Черноземы типичные (39)*				
(NPK)90–120 (фон)	304	–	16.1	48.5
Фон + В 0.5–3.0	329	25	17.5/1.4	57.6/9.1
Каштановые почвы (при орошении) (30)*				
(NPK)90–100 (фон)	435	–	16.8	73.1
Фон + В 1.2–2.0	464	29	17.5/0.7	81.2/8.1

не целесообразно. Следовательно, эту дозу бора в основном внесении в почву следует признать наиболее благоприятной под сахарную свеклу, возделываемую на основном большинстве типов почв, за исключением ее возделывания на лугово-черноземных оподзоленных почвах и выщелоченных черноземах, на которых, по данным достаточно большого экспериментального материала (37–50 опыто-лет наблюдений), оптимальная доза бора составляет порядка 1.0–1.2 кг д.в./га

*Влияние борных удобрений на содержание сахара в корнеплодах и на его сборы с урожаем сахарной свеклы.* В наших исследованиях не вся выборка полевых опытов имела данные о качестве продук-

ции. Однако анализ данных значительного количества опыто-лет наблюдений показал, что применение борсодержащих удобрений в полевых опытах, максимально приближенных к производственным условиям (опыты агрохимслужбы проводили на полях колхозов и совхозов), способствовали повышению сахаристости корнеплодов на большинстве типов почв не менее, чем на 0.7%, а на черноземах типичных – на 1.4% (табл. 3). Дополнительные сборы сахара с 1 га посевов культуры при этом могли составлять на почвах более северных регионов страны (дерново-подзолистые, серые лесные, черноземы оподзоленные и выщелоченные) до 5.0–6.9 ц/га, тогда

**Таблица 4.** Влияние агрохимических свойств различных типов почв на изменчивость прибавок урожайности корнеплодов сахарной свеклы при использовании некорневых подкормок ее посевов бором

Гумус		pH <sub>KCl</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
содержание, %	прибавка урожайности от В, ц/га	ед. pH	прибавка урожайности от В, ц/га	содержание, мг/кг	прибавка урожайности от В, ц/га	содержание, мг/кг	прибавка урожайности от В, ц/га
Серые лесные почвы (10)*							
2.9–3.0	21	5.1–5.2	21	90–180	21	190–260	21
Черноземы выщелоченные (15)*							
<4.7	15	<5.8	10	<105	10	<15	10
4.8–5.5	12	5.9–6.4	15	106–118	18	16–100	19
>5.7	15	6.5–6.8	19	–	–	101–136	15
Черноземы обыкновенные (8)*							
5.4–5.5	23	6.3–6.5	23	113–115	23	146–150	23
Черноземы типичные (13)*							
3.6–4.1	37	7.4–7.6	37	120–123	37	100–102	37
Черноземы карбонатные (8)*							
3.5–3.8	29	7.0–7.4	29	10.0–15.2	29	74–124	29
Каштановые (при орошении) (12)*							
1.9–3.6	43	7.2–8.0	43	14.0–25.0	43	35–311	43

как в более южной зоне возделывания культуры на черноземах типичных, обыкновенных и каштановых почвах еще больше – 8.1–10.7 ц/га, что от валового сбора сахара только от NPK-удобрений могло составлять порядка 10–16% в первом случае и 19–25% – во втором. Таким образом, при средних ежегодных площадях посева сахарной свеклы порядка 1-го млн га в целом по стране при самых минимальных дополнительных сборах сахара с каждого 1 га от борных удобрений можно было бы в целом по стране получать до 700 тыс. т сахара, а при более оптимальных условиях – до 1 млн т сахара, что могло бы существенно снизить дорогие закупки этого продукта за рубежом.

*Эффективность применения некорневых подкормок бором посевов сахарной свеклы.* Материалы обобщения и анализа выборок полевых опытов по изучению эффективности некорневых подкормок бором сахарной свеклы достаточно четко свидетельствовали о возможности получения производственно значимых прибавок урожайности корнеплодов. На серых лесных почвах они изменялись от 13 до 32 ц/га (средняя – 21 ц/га), на черноземах выщелоченных – от 10 до 27 (15 ц/га), на черно-

земах обыкновенных – от 17 до 56 (23 ц/га), черноземах типичных – от 13 до 63 (37 ц/га), черноземах карбонатных – от 16 до 44 (29 ц/га) и на каштановых (при орошении) – от 30 до 57 (43 ц/га). Полученные данные имели широкую вариацию показателей прибавок урожайности культуры при применении изученного способа использования бора и был показан рост средней прибавки урожайности при продвижении с севера на юг. В целом, они на большинстве типов почв были на 20–30% меньше, чем при использовании основного способа (в почву) применения бора. Однако на каштановых почвах (при орошении) выявлено, что некорневые подкормки сахарной свеклы бором по своей эффективности не уступали способу основного внесения бора (в почву).

Ранее было показано, что такие агрохимические факторы, как содержание гумуса, подвижного фосфора и бора, а также дозы бора, влияют на повышение эффективности борных удобрений при их применении основным способом. Полученные материалы исследований по аналогичным показателям при некорневых подкормках бором сахарной свеклы из-за достаточно узкого

**Таблица 5.** Влияние различных уровней содержания подвижного бора в почвах и доз бора при подкормках сахарной свеклы на изменчивость прибавок ее урожайности

Бор в почве		Борные микроудобрения	
содержание, мг/кг	прибавка урожайности от В, ц/га	дозы бора, кг/га	прибавка урожайности от В, ц/га
Серые лесные почвы (10)*			
<0.33	24	0.10–0.25	24
Черноземы выщелоченные (17)*			
<1.30	22	<0.01	10
1.31–1.60	15	0.02–0.06	18
1.61–2.60	19	0.07–0.35	20
Черноземы обыкновенные (20)*			
<0.31	16	0.14–0.21	16
0.32–0.34	23	0.22–0.30	23
Черноземы типичные (13)*			
0.90–1.00	37	0.003–0.010	35
–	–	0.020–0.030	40
Черноземы карбонатные (8)*			
<0.46	29	0.015–0.020	22
0.47–0.60	29	0.021–0.030	32
Каштановые (при орошении) (15)*			
0.38–0.40	43	<0.24	40
–	–	1.10–1.30	43

диапазона их изменений не позволили в полной мере проследить выявленные ранее тенденции. Например, диапазон содержания гумуса в большинстве типов почв менялся в пределах 1–2-х групп по существующим градациям. Аналогичные данные были характерны для почв по уровню их кислотности, содержанию фосфора и бора. Однако для отдельных типов почв достаточно четко выявлено, что эффективность некорневой подкормки бором существенно возрастает при улучшении кислотности почв, содержания в них подвижного фосфора и росте доз применения бора. Например, на черноземах выщелоченных при изменении рН с 5.8 до 6.8 прибавки урожайности от бора возрастали с 10 до 19 ц/га; при изменении содержания фосфора с <105 до 118 мг/кг – с 10 до 18 ц/га (табл. 4), а при увеличении дозы применения бора с <0.01 до 0.35 кг/га – с 10 до 20 ц/га (табл. 5). При этом влияние гумусного состояния этого типа почв (содержание гумуса – 4.7–5.7%) не оказало положительного влияния на эффек-

тивность некорневой подкормки бором (прибавка урожайности была на уровне 12–15 ц/га).

Особое внимание при оценке эффективности микроудобрений заслуживает использование приема орошения. Как и использование основного способа применения бора, так и некорневой подкормки вегетирующих растений, на орошаемых почвах южных регионов страны выявлены высокие средние прибавки урожайности изученной культуры от бора до 43 ц/га (табл. 6).

Весьма важным результатом исследования является установление нормативных показателей применения борных удобрений, в том числе и при проведении некорневых подкормок сахарной свеклы бором. Как показано в табл. 5, основное количество опытов с борными удобрениями выполнено на почвах с недостаточным содержанием бора (<0.7 мг В/кг). Однако наибольшая эффективность приема установлена на всех типах почв с низким и очень низким его содержанием (<0.33 мг В/кг). На серых лесных почвах, черноземах обыкновенных и каштановых почвах прибав-



**Таблица 6.** Влияние некорневой подкормки бором на содержание сахара и его сбор с урожаем корнеплодов сахарной свеклы

Вариант (доза NPK, кг д.в./га; доза В, кг/га)	Урожайность корнеплодов	Прибавка урожая корнеплодов к фону от В	Содержание сахаров в корнеплодах	
	ц/га		общий, %/прибавка от В, %	сбор сахара, ц/га/прибавка от В, ц/га
Серые лесные почвы				
(NPK)90–180 (фон)	335	–	16.9	56.6
Фон + В 0.10–0.25	352	17	17.6/0.7	62.0/5.4
Черноземы выщелоченные				
(NPK)60–90 (фон)	339	–	17.4	59.0
Фон + В 0.01–0.35	362	23	17.9/0.5	64.8/5.8
Черноземы обыкновенные				
(NPK)60–90 (фон)	230	–	17.4	40.0
Фон + В 0.14–0.30	253	23	17.8/0.4	45.0/5.0
Черноземы типичные				
(NPK)60–90 (фон)	439	–	18.1	79.5
Фон + В 0.003–0.030	475	36	19.0/0.9	90.3/10.8
Черноземы карбонатные				
(NPK) 60–90 (фон)	308	–	17.2	53.0
Фон + В 0.015–0.030	329	21	18.1/0.9	59.5/6.5
Каштановые почвы (при орошении)				
(NPK) 60–120 (фон)	356	–	17.2	61.2
Фон + В 0.24–1.30	386	30	17.5/0.8	67.6/6.4

ки урожайности сахарной свеклы при некорневых подкормках посевов достигали 24–43 ц/га.

На черноземах выщелоченных с высоким содержанием бора (1.3–2.6 мг/кг) эффективность некорневой подкормки имела тенденцию к снижению – с 22 до 15–19 ц/га. Следовательно, эти данные подтвердили экономическую целесообразность применения борных удобрений на почвах с пониженным и низким его содержанием. Что касается доз применения бора при проведении подкормок сахарной свеклы, то следует особо отметить следующее: наиболее эффективными в опытах были максимальные дозы из исследованных. Например, на серых лесных, черноземах выщелоченных и обыкновенных они находились в пределах 0.25–0.35 кг В/га, на типичных и карбонатных черноземах – 0.01–0.03 кг/га и на каштановых (при орошении) – 0.24–1.30 кг В/га. Однако следует признать, что повышение дозы применения бора под сахарную свеклу на каштановых почвах до 1.10–1.30 кг/га обеспечи-

вало хотя и максимальную прибавку урожайности (до 43 ц/га), но она незначительно отличалась от урожайности 40 ц/га, полученной при меньшей дозе (0.24 кг В/га), признанной оптимальной для использования под сахарную свеклу на других типах черноземов – выщелоченных и обыкновенных (табл. 5).

Известно, что сахаристость корнеплодов сахарной свеклы имеет первостепенное значение при их переработке и определяет эффективность работы всего свеклосахарного комплекса. По существующей в стране статистике установлено, что с ростом урожайности корнеплодов сахарной свеклы в последние годы снижается содержание в них сахара. Одним из факторов интенсификации ее производства и улучшения качества продукции являются микроудобрения, в том числе борные, применяемые способом некорневых подкормок вегетирующих растений.

Полученные данные (табл. 6) однозначно доказали, что практически на всех типах почв при-

**Таблица 7.** Влияние агрохимических свойств различных типов почв на изменчивость прибавок урожая сахарной свеклы при использовании предпосевной обработки ее семян бором

Гумус		pH <sub>KCl</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
содержание, %	прибавка урожайности от В, ц/га	ед. pH	прибавка урожайности от В, ц/га	содержание, мг/кг	прибавка урожайности от В, ц/га	содержание, мг/кг	прибавка урожайности от В, ц/га
Дерново-подзолистые почвы (13–16)*							
1.1–1.3	21	<6.5	21	<62	21	<64	21
2.1–2.5	32	6.6–7.2	32	62–75	32	65–95	32
Серые лесные почвы (16–22)*							
<3.0	18	<5.3	19	136–178	22	<200	26
3.1–3.6	30	5.4–6.2	33	–	–	201–226	21
Черноземы выщелоченные (31–39)*							
<5.3	24	<5.6	22	<50	24	<100	24
5.3–6.3	23	5.7–6.0	23	51–100	26	101–153	24
6.4–8.0	27	6.1–6.8	26	101–120	25	154–200	27
–	–	–	–	–	–	>200	–26
Черноземы типичные карбонатные северо-приазовские (18–21)*							
<3.7	32	7.1–7.2	34	100–150	35	101–145	35
3.8–4.3	38	–	–	–	–	–	–
Каштановые почвы при орошении (10–11)*							
<2.0	27	<7.6	41	<20	47	–	–
2.1–3.0	41	7.7–8.0	44	>21	45	–	–
3.1–4.0	44	–	–	–	–	–	–

менение некорневых подкормок изученной культуры бором способствовали увеличению содержания в ней сахара на 0.4–0.9% (при его содержании на фоне NPK 17.2–18.1%). Эти показатели вполне сопоставимы с данными, полученными ранее при исследовании эффективности основного способа применения бора. Расчеты сбора дополнительного количества сахара за счет некорневой подкормки бором также показали, что они могут быть достаточно весомыми и составлять порядка 5.0–6.4 ц/га при возделывании культуры на большинстве основных типов почв, а на черноземах типичных они были более высокими (до 10.8 ц/га). Аналогичные или несколько более высокие (на 1–2 ц/га) показатели получены при использовании основного способа (в почву) применения бора под сахарную свеклу, т.е. дополнительные сборы сахара при выращивании сахарной свеклы с применением борных удобрений на большинстве основных типов почв меня-

лись преимущественно в пределах 6.2–8.1 ц/га, а на черноземах типичных и обыкновенных – до 9–11 ц/га. Таким образом, можно заключить, что некорневые подкормки бором посевов сахарной свеклы практически значимы и по влиянию на качество выращиваемой продукции, и они вполне сопоставимы с основным способом внесения бора, особенно при возделывании сахарной свеклы в южных регионах России на черноземах обыкновенных, типичных и каштановых почвах.

*Эффективность применения предпосевной обработки семян сахарной свеклы бором.* Полученные материалы исследований свидетельствуют, что предпосевная обработка семян сахарной свеклы бором является существенным фактором интенсификации производства изученной культуры практически во всех зонах ее возделывания. Установлено, что прибавки урожайности корнеплодов сахарной свеклы при этом способе применения борных удобрений значительно зависят от

**Таблица 8.** Влияние содержания подвижного бора в почвах и доз его применения при предпосевной обработке семян на прибавку урожайности сахарной свеклы

Содержание бора в почве, мг/кг	Прибавка урожайности, ц/га	Доза В, кг д.в./га	Прибавка урожайности, ц/га
Дерново-подзолистые почвы (13–16)*			
0.30–0.38	17 (8–32)	0.006–0.010	18 (8–32)
Серые лесные почвы (16–22)*			
0.31–0.36	22 (5–38)	<0.010	20 (17–22)
–	–	0.011–0.020	22 (21–43)
–	–	0.021–0.060	38 (36–38)
Черноземы выщелоченные (31–39)*			
<0.70	27 (25–28)	<0.010	24 (14–28)
0.71–1.70	25 (21–26)	0.011–0.013	23 (13–28)
1.80–2.60	10 (6–18)	0.014–0.040	23 (6–28)
Черноземы типичные (30)*			
<0.10	20 (19–20)	<0.001	20 (19–20)
0.20–0.50	35 (23–41)	0.002–0.003	35 (23–41)
0.51–0.79	32 (20–73)	0.004–0.020	35 (20–73)
Каштановые почвы (при орошении) (11)*			
0.38–0.40	47 (27–61)	<0.036	49 (42–61)
–	–	0.037–0.042	40 (32–43)
–	–	0.043–0.050	33 (27–39)

почвенно-климатических условий ее возделывания и доз внесенных минеральных удобрений, агрохимических свойств почв, спецификации видов обработки семян (опыливания, опрыскивания и замачивания) и т.п. На каждом типе почв установлен широкий диапазон изменения прибавок урожайности корнеплодов: на дерново-подзолистых почвах он был в пределах 8–32 ц/га (средняя – 18 ц/га), на серых лесных – 5–38 (22), на черноземах типичных – 14–73 (34) и на каштановых почвах (при орошении) – 27–59 ц/га (средняя – 47 ц/га).

Установлено, что средний уровень прибавок урожайности корнеплодов сахарной свеклы в зонах ее возделывания при продвижении с севера на юг возрастал в следующем порядке и составил: на дерново-подзолистых почвах – 17 ц/га, серых лесных – 22, черноземах выщелоченных – 24, черноземах типичных – 34 и на каштановых (при орошении) – 47 ц/га. Следовательно, оптимизация агрохимических факторов (в т.ч. и плодородия почв) делает изученный прием применения борных удобрений наиболее обоснованным и перспективным.

Выше было показано, что эффективность применения борных удобрений основным способом (в почву) существенно зависит и от агрохимических свойств почв. Аналогичная проработка вопроса проведена и для способа применения бора путем предпосевной обработки семян. Установлено (табл. 7), что на всех изученных типах почв при улучшении их агрохимических показателей достаточно четко проявлялась тенденция к увеличению прибавок урожайности корнеплодов при использовании бора. Например, на дерново-подзолистых почвах она составляла от 21 до 32 ц/га, на серых лесных – от 19 до 33, на черноземах выщелоченных – от 22 до 27, на черноземах типичных – от 32 до 35, на каштановых (при орошении) – от 27 до 47 ц/га. Наиболее существенные положительные изменения в эффективности предпосевной обработки семян установлены при влиянии тех же агрохимических показателей почв, что при изучении эффективности применения бора основным способом (в почву), т.е. при улучшении гумусового состояния почв, их кислотности и содержания подвижного фосфора. Особого внимания в данном контексте требуют нормативные вопросы применения борных удоб-

**Таблица 9.** Влияние предпосевной обработки семян бором на содержание сахара и его сбор с урожаями корнеплодов сахарной свеклы на различных типах почв

Вариант (доза NPK, кг д.в./га; доза В, кг/га)	Урожайность корнеплодов	Прибавка урожайности корнеплодов от В	Содержание сахара	
	ц/га		общий %/прибавка от бора, %	сбор сахара, ц/га/прибавка от бора, ц/га
Дерново-подзолистые почвы (16)*				
(NPK)90–120 (фон)	311	–	18.3	56.8
Фон + В 0.006–0.010	341	30	18.8/0.5	64.1/7.3
Серые лесные почвы (13)*				
(NPK)90–180 (фон)	307	–	16.7	51.3
Фон + В 0.010–0.020	336	29	17.5/0.8	58.8/7.5
Черноземы выщелоченные (18)*				
(NPK)90–120 (фон)	307	–	18.1	56.2
Фон + В 0.009–0.020	331	24	18.8/0.7	64.7/8.5
Черноземы типичные (15)*				
(NPK)60–90 (фон)	408	–	17.3	69.8
Фон + В 0.003–0.020	441	33	18.0/0.7	78.9/9.1
Каштановые почвы (при орошении) (11)*				
(NPK)60–90 (фон)	400	–	17.5	72.8
Фон + В 0.036–0.050	445	45	18.5/0.6	84.5/11.7

рений. Во всех ранее изданных рекомендациях [22–25], опирающихся на существующие градации почв по содержанию бора в почвах, рекомендуется применять борные удобрения при его содержании в почвах <0.7 мг/кг. Полученные данные нашего исследования (табл. 8) подтвердили это положение. Например, на выщелоченных черноземах опыты проведены на почвах с широким диапазоном содержания подвижного бора от 0.7 до 2.6 мг/кг и выявлено постепенное существенное снижение прибавок урожайности корнеплодов от борных удобрений на почвах с повышенным и высоким его содержанием. Так, при его содержании <0.7 мг/кг прибавка урожайности составляла 27 ц/га, а при 0.71–1.70 и 1.80–2.60 мг/кг – соответственно 25 и 10 ц/га. Аналогичная тенденция выявлена в опытах и на типичных черноземах.

Нашим исследованием выявлены следующие наиболее оптимальные дозы применения борных удобрений (расход бора на посевную норму семян, кг/га) (табл. 8): на дерново-подзолистых – 0.006–0.010 (при опудривании семян), на серых лесных почвах – 0.020–0.060 (при опудривании и

опрыскивании), на черноземах выщелоченных – 0.014–0.040 (при опудривании, опрыскивании и замачивании), на черноземах типичных – 0.004–0.020 (при замачивании семян), на каштановых (при орошении) – 0.036–0.042 (при опудривании). В настоящее время достаточно известно, что такие способы обработки семян, как опудривание и замачивание, имеют недостатки как технологические, так и санитарные, то предпочтительнее должно быть отдано варианту опрыскивания семян растворами бора в комплексе с протравителями, прилипателями и наполнителями. Такая подготовка семян очень важна (дражирование, инкрустация семян) при переходе к механизированному формированию густоты насаждения сахарной свеклы.

Нашим исследованием достаточно четко подтверждено, что при использовании предпосевной обработки семян сахарной свеклы бором отечественных сортов повышается не только урожайность культуры, но и сахаристость корнеплодов (табл. 9). Показано, что повышение сахаристости корнеплодов от бора составляло 0.5–0.8%, что обеспечивало дополнительный выход сахара с

**Таблица 10.** Окупаемость различных способов применения борных, NPK- и NPK + B-удобрений прибавками урожайности сахарной свеклы на различных типах почв в зонах ее возделывания

Способ применения борных удобр.	Количество опыто-лет наблюдений	Дозы удобрений NPK + B, кг д.в./га	Прибавка урожая, ц/га		Окупаемость удобрений, кг/кг		
			к контролю от NPK/от NPK + B	к фону от бора	NPK	NPK + B	B
Дерново-подзолистые почвы							
1. Основной (в почву)	45	(NPK)90–120 + B 0.5–2.0	–	65	–	21	$3.5 \times 10^3$
2. Подкормки	–	–	–	–	–	–	–
3. Обработка семян	17	(NPK)90 + B 0.04–0.5	–	18	–	6	$242 \times 10^3$
Серые лесные почвы							
1. Основной (в почву)	69	(NPK)90–120 + B 0.4–2.0	–	56	–	18	$2.6 \times 10^3$
2. Подкормки	10	(NPK)85–90 + B 0.10–0.25	–	17	–	19	$17 \times 10^3$
3. Обработка семян	19	(NPK) 80–90 + B 0.01–0.02	–	22	–	9	$197 \times 10^3$
Черноземы выщелоченные							
1. Основной (в почву)	75	(NPK)60–220 + B 0.5–3.0	59/79	20	9	16	$3.2 \times 10^3$
2. Подкормки	17	(NPK)60–90 + B 0.01–0.06	–	21	–	9	$100 \times 10^3$
3. Обработка семян	39	(NPK)90–120 + B 0.004–0.020	–	24	–	7	$427 \times 10^3$
Черноземы обыкновенные							
1. Основной (в почву)	45	(NPK)60–120 + B 1.0–4.5	–	28	–	9	$2.3 \times 10^3$
2. Подкормки	20	(NPK)60–120 + B 0.24–0.30	–	18	–	9	$69 \times 10^3$
3. Обработка семян			Нет данных				
Черноземы типичные							
1. Основной (в почву)	39	(NPK)90–120 + B 0.5–3.0	96/120	24	15	25	$1.7 \times 10^3$
2. Подкормки	8	(NPK)60–70 + B 0.003–0.030	–	37	–	21	$334 \times 10^3$
3. Обработка семян	15	(NPK)60–90 + B 0.003–0.020	–	34	–	15	$881 \times 10^3$
Каштановые почвы (при орошении)							
1. Основной (в почву)	36	(NPK)90–160 + B 1.0–2.0	–	31	–	9	$1.8 \times 10^3$
2. Подкормки	8	(NPK)60–120 + B 0.24–1.30	–	46	–	23	$11 \times 10^3$
3. Обработка семян	11	(NPK)60–90 + B 0.003–0.040	–	47	–	27	$103 \times 10^3$

продукцией до 7.3–11.7 ц/га. При этом наибольшие сборы сахара с каждого гектара посева отмечены при возделывании сахарной свеклы на черноземах типичных, северокавказских, приазовских, карбонатных и каштановых почвах (при орошении) – до 79–85 ц/га, в т.ч. за счет предпосевной обработки семян бором – 9–12 ц/га. На черноземах выщелоченных, серых лесных и дерново-подзолистых почвах эти показатели были заметно меньше, но они достаточно весомы для свеклосеющего комплекса и этих регионов, т.к. составили 59–65 ц/га, в т.ч. от использования борных удобрений – 7.3–8.5 ц/га.

*Сравнительная агроэкономическая эффективность применения борных удобрений различными способами под сахарную свеклу.* В литературных источниках не обнаружены материалы об окупаемости применения борных удобрений под изученную культуру. Сделанные нами расчеты не были неожиданными, т.к. ранее в наших исследованиях были выявлены высокие показатели окупаемости цинковых удобрений прибавками урожая зерновых [26–29], которые были на 2 и более порядка больше окупаемости NPK-удобрений. Нашими расчетами впервые выявлено, что окупаемость борных удобрений при использовании под сахарную свеклу была необычно высокой: на всех изученных типах почв она менялась при внесении в почву бора (основной способ) в пределах  $1.7 \times 10^3$ – $3.2 \times 10^3$  кг/кг, при использовании некорневых подкормок –  $11 \times 10^3$ – $334 \times 10^3$ , при обработке семян –  $103 \times 10^3$ – $881 \times 10^3$  (табл. 10). Наиболее высокая окупаемость бора, естественно, была выявлена в условиях применения его наиболее низких доз при некорневых подкормках и предпосевной обработке.

Достаточно значимым для обоснования целесообразности применения борных удобрений под сахарную свеклу является и то, что они повышают эффективность применения традиционных NPK-макроудобрений. По материалам выборки полевых опытов выявлено, что не во всех ранее проведенных исследованиях в схемах опытов присутствовал контрольный вариант (без удобрений), и это не дало возможность рассчитать прибавку урожайности во всех опытах от применения NPK и их окупаемость. Вместе с этим в опытах с основным внесением бора под сахарную свеклу с контрольным вариантом на оподзоленных черноземах (39 опыто-лет наблюдений), на черноземах выщелоченных (75 опыто-лет наблюдений) и на черноземах типичных (39 опыто-лет наблюдений) выявлено, что окупаемость NPK (без бора) составила 25, 9 и 15 кг/кг соответственно, тогда

как в варианте NPK + B она была большей и составила 37, 16 и 25 кг/кг соответственно. Таким образом, использование борных удобрений на фоне NPK-удобрений под сахарную свеклу способствовало повышению окупаемости традиционных минеральных удобрений на 48–60%, в т.ч. на черноземах оподзоленных – на 48, на черноземах выщелоченных – на 56 и на черноземах типичных – на 60%.

Следовательно, микроэлемент бор является не только элементом, необходимым для оптимизации питания сахарной свеклы, но и фактором, необходимым для повышения урожайности с более эффективным использованием макроудобрений. Особенно значима роль бора в повышении качества выращиваемой продукции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализирован большой объем информации по эффективности применения борных удобрений под сахарную свеклу (более 450 опыто-лет наблюдений), возделываемую на преобладающих типах почв страны. Установлено, что эффективность применения борных удобрений всеми известными способами под изученную культуру существенно зависела от основных агрохимических показателей плодородия почв (содержания гумуса, кислотности и содержания подвижного фосфора), а также от выбора наиболее оптимальных доз борных удобрений. При основном внесении бора выявлено практически равноценное влияние на дополнительную прибавку урожайности корнеплодов и их качество различных форм борных удобрений (борной кислоты, борного суперфосфата, бората магния и др.), вносимых в почву в эквивалентных дозах. Выявлены основные приоритеты способов применения бора: в северных регионах – основное, в южных – экономичными способами. Достоверно подтверждено, что борные удобрения не только повышают урожайность сахарной свеклы, но существенно увеличивают содержание сахара в ее корнеплодах. Установлено, что применение борных удобрений очень высоко окупается прибавкой урожая корнеплодов, особенно при использовании экономичных способов (подкормки и обработка семян). Они также способствуют повышению эффективности применения традиционных NPK-удобрений. Например, на ряде исследованных почв (черноземы оподзоленные, выщелоченные и типичные) при использовании основного способа внесения борных удобрений в комплексе с макроудобрениями повышение окупаемости

НРК+В-удобрений дополнительной прибавкой урожая корнеплодов относительно только НРК возростала на 48–60%. Борные удобрения, внесенные в почву в научно обоснованных дозах повышали содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы на 0.7–1.4% при основном внесении, на 0.3–0.9% – при подкормках и на 0.5–0.8% – при обработке семян, что определяло возможное получение дополнительного сбора сахара до 0.7–1.0 млн т со средней общей площади ее посева в стране порядка 1 млн га.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристархов А.Н.* Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. М.: Изд-во МГУ, ЦИНАО, 2000. 524 с.
2. *Аристархов А.Н.* Агрохимия серы. М.: ВНИИА, 2007. 272 с.
3. *Державин Л.М., Мерзлая Г.Е., Хайдуков К.П.* Интегрированное применение удобрений и других средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях производства сахарной свеклы. М.: ВНИИА, 2015. 379 с.
4. *Державин Л.М.* Роль химизации земледелия в модернизации сельского хозяйства России // АПК: экономика, управление. 2011. № 7. С. 73–77.
5. *Сычев В.Г., Аристархов А.Н., Харитонов А.Ф.* Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления. М.: ВНИИА, 2009. 520 с.
6. *Катальмов М.В.* Микроэлементы и микроудобрения. Изд-во “Химия”, М.–Л., 1965. 121 с.
7. *Багинскас Б.П.* Содержание подвижных форм В, Мо, Со, Мп и Zn в кислых почвах и их изменение под влиянием известкования // Вопросы известкования кислых почв. Вып. 1. Везайчай, 1969. С. 65–71.
8. *Небольсин А.Н., Небольсина З.П.* Влияние известкования на содержание микроэлементов в почвах и кормовых растениях // Там же. С. 153–158.
9. *Анспек П.И.* Рациональные способы использования микроэлементов в Латвии // Агрохимия. 1990. № 11. С. 27–30.
10. *Анспек П.И.* Микроудобрения (справочная книга). М.–Л.: Колос, ЛО, 1978. 272 с.
11. *Бузовер Ф.Я., Ваганов А.П.* Влияние микроэлементов на сахаристость и нарастание корней сахарной свеклы. Тез. докл. 5-го Всесоюз. совещ. “Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине”. Улан-Удэ, 1965. Т. 3. С. 233–234.
12. *Сапатый С.Е.* Влияние микроэлементов на рост, развитие, биохимические показатели и урожайность сахарной свеклы сорта В-031 // Там же. С. 237–240.
13. Статистические материалы развития агропромышленного производства России. М.: Типография РАСХН, 2014. 35 с.
14. *Аристархов А.Н.* Мои университеты в жизни, образовании и научной сфере (специальность 06.01.04–Агрохимия). М., 2017. 192 с.
15. ОСТ 46–23–74. Полевые опыты с удобрениями в системе Государственной агрохимической службы СССР. М.: Минсельхоз СССР, 41 с.
16. ГОСТ 26483–85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО // URL: [http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_26483-85](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_26483-85)
17. ГОСТ 26213–91 Почвы. Методы определения органического вещества // URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-26213-91>
18. ГОСТ 26204–91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО // URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-1200023447>
19. ГОСТ 26205–91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачина в модификации ЦИНАО // URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-1200023449>
20. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Под ред. Державина Л.М., Булгакова Д.С. М.: Росинформагротех, 2003. 196 с.
21. Практикум по агрохимии: Уч. пособ. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Минеева В.Г. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
22. *Ежов Р.И., Державин Л.М., Литвак Ш.И., Аристархов А.Н., Поляков А.Н., Чумаченко И.Н., Ковалева Т.П., Собачкина Л.Н., Собачкин А.А., Потапуева Ю.А., Чурбанов В.М., Аристархова Г.Г., Панасин В.М., Муравин Э.А.* Методические указания по определению потребности земледелия в микроудобрениях. М., 1984. 72 с.
23. *Аристархов А.Н., Державин Л.М., Чумаченко И.Н., Ковалева Т.П., Литвак Ш.И., Собачкин А.А., Страшнова Т.Т.* Методические указания по применению микроудобрений при интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. М., 1987. 37 с.
24. *Страшнова Т.Т., Воронцов Г.О., Тетерев С.Л.* Инструкция по протравливанию семян сельскохозяйственных культур пленкообразующими составами на основе водорастворимых полимеров NaKMЦ и ПВС. М.: Россельхозиздат, 1986. 32 с.
25. *Чумаченко И.Н., Светов В.А., Кондратенко В.Н., Панасин В.И.* Комплексная предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур протравителями, микроэлементами и пленкообразующими препаратами (краткая инструкция). М.: ВНИПТИХИМ, 1983. 14 с.
26. *Аристархов А.Н., Волков А.В., Яковлева Т.А.* Агроэкономическая эффективность применения цинковых удобрений под яровую пшеницу на различных типах почв // Плодородие. 2016. № 2. С. 2–10.
27. *Аристархов А.Н., Яковлева Т.А.* Влияние агрохимических свойств различных типов почв на эффек-

- тивность применения цинковых удобрений под кукурузу (*Zea mays* L.) на зерно в основных природно-сельскохозяйственных зонах России // Пробл. агрохим. и экол. 2016. № 3. С. 21–27.
28. Сычев В.Г., Аристархов А.Н., Яковлева Т.А. Цинк в агроэкосистемах России: мониторинг и эффективность применения. Монография. М.: ВНИИА, 2015. 203 с.
29. Аристархов А.Н., Яковлева Т.А. Влияние агрохимических свойств различных типов почв на эффективность применения цинковых удобрений под кукурузу на зеленую массу // Плодородие. 2017. № 1. С. 30–35.

## Agrochemical and Agro-Economic Efficiency of Application of Boron Fertilizers in Different Ways for Sugar Beet (*Beta vulgaris* L. var. *sacharifera* Alef.)

A. N. Aristarkhov<sup>a,#</sup> and T. A. Yakovleva<sup>a</sup>

<sup>a</sup> D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry,  
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550, Russia

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

On the basis of long-term data of mass field experiments (>450 years of experience) it was shown that the increase in the yield of sugar beet root crops from boron fertilizers was practically significant (up to 25–60 centners/ha), but they varied significantly depending on the soil and climatic conditions of its cultivation, agrochemical properties of soils, methods and doses of used boron fertilizer. It was established that on the soils of sod-podzolic, gray forest, black soils podzolized by the priority method of application of boron is the main (in the soil), and in the cultivation of sugar beet on chernozems typical and chestnut (irrigation) priority are cost – effective methods – seed treatment and foliar feeding; on leached Chernozem – all methods are practically equivalent. Boron fertilizers contribute to the increase of sugar content by making the main – 0.7–1.4%, foliar fertilizing – 0.3–0.9% and seed treatment with boron at 0.5–0.8%. Boron fertilizers pay off very high yield increases and contribute to an increase in the payback of traditional NPK-fertilizers by 40–60%.

*Key words:* agrochemical and agro-economic efficiency, boron fertilizers, sugar beet (*Beta vulgaris* L. var. *sacharifera* Alef.).