

# Оценка физико-химических свойств чернозёма выщелоченного в условиях длительного применения удобрений в ЦЧР и их взаимосвязь с урожайностью сахарной свёклы

**О.А. МИНАКОВА**, д-р с/х наук (e-mail: olalmin2@rambler.ru)

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»

**В.В. ТРИГУБ**, студент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

## Введение

Сахарная свёкла требовательна к реакции почвенной среды, оптимум которой должен составлять 6–8 единиц pH [5]. Основные отрицательные последствия повышенной кислотности — это снижение доступности основных элементов питания (особенно  $P_2O_5$ ), кальция и микроэлементов, ухудшение состава микробного ценоза почвы [1].

В настоящее время наблюдается повсеместное подкисление пахотных земель. В Российской Федерации кислые почвы (с  $pH_{KCL}$  менее 5,5) занимают 33 % площади пашни [12], в ЦЧР доля кислых почв составляет 48,5 % [11]. Почвы центральной части имеют кислые свойства в результате особенностей почвообразования (подзолы, дерново-подзолистые, серые лесные) [12], но в последние годы масштабное подкисление пахотных почв отмечается и на изначально нейтральных чернозёмах [3, 4]. Данный процесс происходит вследствие применения высоких доз физиологически кислых минеральных удобрений [6], выпадения кислотных дождей (с  $pH = 3-4$ ) [7], низкого уровня внесения органических удобрений (в Российской Федерации навозом удобряется только 9,4 % пашни) [8].

Вследствие биологических особенностей сахарной свёклы её ризодепозиты (корневые экссудаты, слизи, ферменты, а также корневой опад) подкисляют почвы [2, 9], снижают доступность NPK и способствуют недобору урожая. На чувствительных к кислотности гибридах сахарной свёклы может отмечаться выпадение растений, снижение густоты, значительное торможение развития, вследствие чего хозяйство теряет до половины потенциального урожая.

Таким образом, поиск путей оптимизации почвенной кислотности, в том числе использование в севооборотах с сахарной свёклой рациональных систем удобрений, оптимизирующих данный показатель, является актуальной задачей агрохимии.

**Цель исследования** — изучить изменения физико-химических свойств чернозёма выщелоченного при длительном применении удобрений в зернопаропропашном севообороте и определить их влияние на урожайность сахарной свёклы.

## Задачи исследования:

— установить изменения различных форм кислотности, содержания обменных оснований и буфер-

ности под влиянием систематического применения удобрений;

— выявить изменение урожайности основной и побочной продукции сахарной свёклы в 10-й ротации стационарного опыта;

— установить математическую связь продуктивности культуры с физико-химическими свойствами почвы.

## Условия и методика

Исследования проводили в 10-й ротации 9-польного севооборота с двумя полями сахарной свёклы со следующим чередованием культур: чёрный пар — озимая пшеница — сахарная свёкла — ячмень с подсевом клевера — клевер одного года использования — озимая пшеница — сахарная свёкла — однолетние травы (травосмесь горох + овёс) — овёс. В опыте изучались 6 вариантов: контроль (без удобрений);  $N_{45}P_{45}K_{45}$  под сахарную свёклу на фоне 25 т/га навоза в пару;  $N_{90}P_{90}K_{90}$  под сахарную свёклу на фоне 25 т/га навоза в пару;  $N_{135}P_{135}K_{135}$  под сахарную свёклу на фоне 25 т/га навоза в пару;  $N_{120}P_{120}K_{120}$  под сахарную свёклу на фоне 50 т/га навоза в пару;  $N_{190}P_{190}K_{190}$  (без навоза). Насыщенность 1 га NPK составила соответственно: 0; 205,6; 340,6; 475,6; 501,2 и 570,0 кг д. в. В качестве

минеральных удобрений использовалась нитроаммофоска (16:16:16), которая вносилась только под сахарную свёклу осенью перед основной обработкой почвы (отвальной вспашкой), навоз – один раз за ротацию в пару, сахарная свёкла использовала последствие навоза на второй год. Повторность опыта трёхкратная, размещение вариантов систематическое. Площадь опытной и учётной деленок составляла соответственно 133,7 и 10,8 м<sup>2</sup>. Возделывались районированные гибриды сахарной свёклы отечественной селекции (РМС 120, РМС 121, РМС 127, РМС 129, РО 117). В почве изучалось рН<sub>КСЛ</sub> (ГОСТ 26483-85); содержание гумуса по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); содержание обменного кальция (ГОСТ 26487-85); обменного магния (ГОСТ 26428-85); величина гидролитической кислотности по Каппену (ГОСТ 26212-91), степень насыщенности основаниями, содержание обменных оснований и ёмкость катионного обмена – расчётным методом.

**Результаты и обсуждение**

В результате проведённых исследований установлено, что длительно используемые удобрения

в наибольшей степени влияли на гидролитическую кислотность почвы, её повышение относительно контроля составило 23,2–35,1 % (табл. 1), гумуса – 5,81–16,2 %, обменного магния – 5,57–8,64 %. Соотношение кальция к магнию под воздействием удобрений в основном снижалось (кроме варианта N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> + 25 т/га навоза), что свидетельствовало об увеличении доли магния в ППК. Такие показатели, как рН<sub>КСЛ</sub> в начале и в середине вегетации сахарной свёклы, содержание обменного Ca<sup>2+</sup>, степень насыщенности основаниями и ёмкость катионного обмена практически не зависели от уровня удобрённости, но была отмечена тенденция к снижению большинства данных показателей (кроме Ca<sup>2+</sup>, где наблюдалось небольшое повышение), в наибольшей степени – в варианте N<sub>190</sub>P<sub>190</sub>K<sub>190</sub>. Почва этого варианта обладала худшими физико-химическими свойствами, так как подкисляющее действие высокой дозы минеральных удобрений не компенсировалось подщелачивающим действием навозом (вследствие его отсутствия в данной системе).

Лучшие физико-химические показатели, а также максимальная гумусированность отмечались в варианте N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> + 50 т/га на-

воза, что связано с поступлением большого количества навоза с подщелачивающим действием, в меньшей степени – в варианте N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> + 25 т/га навоза.

Снижение рН<sub>КСЛ</sub> в период активной вегетации культуры (относительно начала вегетации) было максимальным в вариантах с высокими дозами минеральных удобрений на безнавозном фоне, а также на фоне 25 т/га навоза и составило 0,16–0,27 ед., что свидетельствует о максимальной активности ризодепозитов культуры в этих вариантах.

В целом кислотно-основные свойства почвы опыта были в достаточно оптимальном состоянии, пригодном для возделывания сахарной свёклы (слабокислая реакция среды, высокая степень насыщенности основаниями, относительно невысокая скрытая (гидролитическая) кислотность, оптимальное соотношение кальция к магнию).

Выявлено, что внесение удобрений в течение более чем 80 лет способствовало созданию урожайности корнеплодов сахарной свёклы на уровне 39,4–45,6 т/га (см. рис.), листьев – 15,2–18,6 т/га, а в варианте без удобрений данные показатели составили 32,6 и 10,4 т/га соответственно. Увеличение уро-

**Таблица 1. Физико-химические свойства почвы стационарного опыта и содержание гумуса в 10-й ротации, слой 0–40 см**

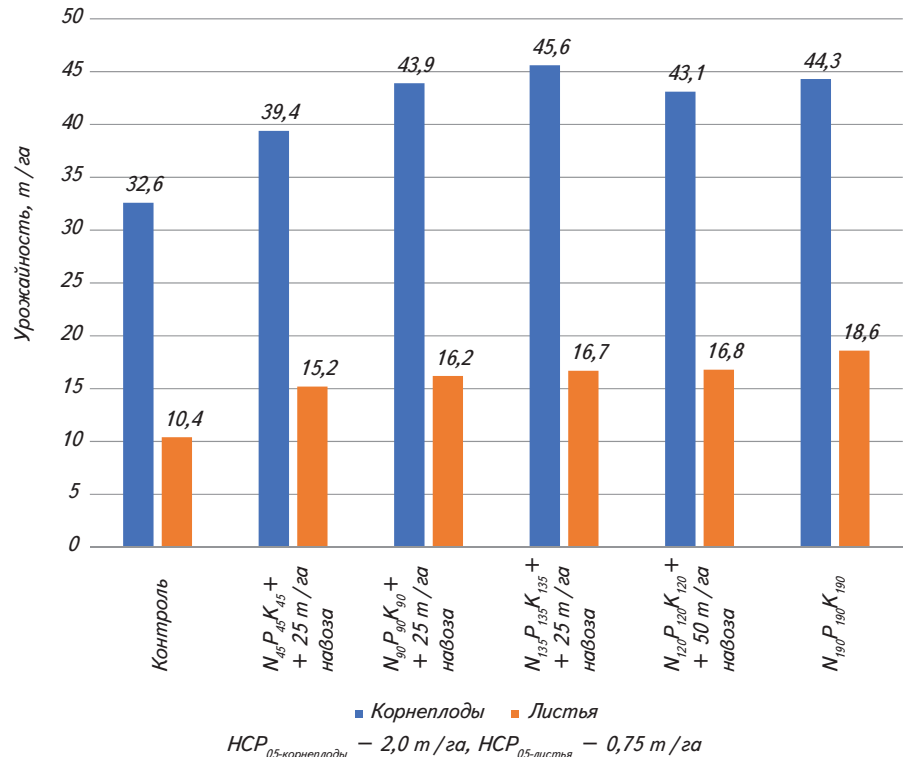
Вариант	Гумус, %	Нг, ммоль (экв)/100 г почвы	рН <sub>КСЛ</sub> (май)	рН <sub>КСЛ</sub> (июль)	Са, ммоль (экв)/100 г почвы	Мг, ммоль (экв)/100 г почвы	Соотношение Са: Mg	Сумма, ммоль (экв)/100 г почвы	V, %	ЕКО, ммоль (экв)/100 г почвы
Контроль	4,82	2,85	5,39	5,31	20,3	3,59	—	23,9	89	26,8
N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> + 25 т/га навоза	4,79	3,55	5,35	5,33	20,7	3,90	5,3	24,6	87	28,2
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + 25 т/га навоза	5,10	3,51	5,36	5,20	21,3	3,49	5,1	24,8	88	28,3
N <sub>135</sub> P <sub>135</sub> K <sub>135</sub> + 25 т/га навоза	5,43	3,46	5,34	5,07	21,0	3,85	5,5	24,8	88	28,3
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + 50 т/га навоза	5,60	3,42	5,27	5,27	20,9	3,90	5,4	24,8	88	28,2
N <sub>190</sub> P <sub>190</sub> K <sub>190</sub>	5,15	3,85	5,20	5,03	20,4	3,79	5,4	24,1	86	28,0
НСР <sub>05</sub>	0,26	0,16	—	—	—	0,25	—	—	—	—

жайности корнеплодов относительно контроля в удобренных вариантах составило 6,8–13,0 т/га (20,9–39,9 %), листьев – 4,8–8,2 т/га (46,2–78,8 %). Более значительно повышение урожайности листьев свидетельствует о большем влиянии удобренности на этот показатель, чем на урожайность корнеплодов. Если наибольшую продуктивность корнеплодов обеспечивала дозировка  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза, то листьев –  $N_{190}P_{190}K_{190}$ .

Максимальный биологический урожай (листья + корнеплоды) был собран в варианте  $N_{190}P_{190}K_{190}$ , но вследствие самой большой урожайности листьев здесь он не может считаться наиболее продуктивным вариантом.

Сопоставление прибавок урожая, полученных в разных вариантах относительно меньших доз, позволило заключить, что наибольший прирост относительно контроля обеспечила доза  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза – 6,8 т/га, дальнейшее увеличение удобренности в меньшей степени увеличивало прибавки на 4,5; 1,7–1,5 и 1,2 т/га соответственно, что свидетельствует о минимальном эффекте дозы  $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  т/га навоза, где при увеличении насыщенности NPK относительно  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза прибавка была на 1,5 т/га меньше. Дозы  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза и  $N_{190}P_{190}K_{190}$  также способствовали незначительному повышению показателя относительно менее удобренных вариантов.

Соотношение «листья : корнеплоды» в контроле составило 0,32; в варианте  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза – 0,39;  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза – 0,37;  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза – 0,37;  $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  т/га навоза – 0,39;  $N_{190}P_{190}K_{190} - 0,42$ . Удобрения способствовали расширению данного соотношения, минеральная система максимально его увеличивала, а лучшим оно было в вариантах  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза и  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза.



Урожайность корнеплодов и листьев сахарной свёклы в стационарном опыте, 2018–2022 гг.

В результате математического анализа связи урожайности корнеплодов и показателей физико-химического состояния почвы опыта установлено, что наибольшая корреляционная связь отмечалась между продуктивностью и гидролитической кислотностью ( $r^2 = 0,655$ ) (табл. 2), а также ёмкостью катионного обмена ( $r^2 = 0,795$ ), а такие показатели, как содержание гумуса,  $pH_{KCL}$  в разные периоды вегетации и

сумма обменных оснований либо практически не влияли либо слабо влияли на итоговую урожайность корнеплодов. Увеличение Нг и гумусности в наибольшей степени способно влиять на повышение продуктивности культуры, а  $pH_{KCL}$  в середине вегетации – снижать данный показатель.

**Заключение**

Кислотно-основные свойства чернозёма выщелоченного при

Таблица 2. Взаимосвязь урожайности корнеплодов сахарной свёклы и физико-химических свойств почвы стационарного опыта, 10-я ротация

Показатель	Уравнение регрессии	$R^2$
Нг	$Y = 12,0x + 0,345$	0,655
$pH_{KCL}$ май	—*	—*
$pH_{KCL}$ июль	$Y = -26,7x + 182$	0,497
Сумма поглощённых оснований	$Y = 8,05x - 156$	0,445
ЕКО	$Y = 7,40x - 165$	0,795
Гумус	$Y = 10,4x - 12,2$	0,487

\* Связь между показателями не выявлена

длительном использовании удобрений были в достаточно оптимальном состоянии, пригодном для возделывания сахарной свёклы.

Лучшие физико-химические показатели, а также максимальная гумусированность отмечались в варианте с повышенной дозой навоза —  $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  т/га навоза.

Наибольшую урожайность корнеплодов в опыте обеспечивала система  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза, что составило +13,0 т/га (39,9 %) к контролю.

Сравнение прибавок урожайности корнеплодов относительно меньших доз позволило установить: наибольший эффект обеспечивали дозы  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза и  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза.

Математически доказано, что гидролитическая кислотность и ёмкость катионного обмена почвы в наибольшей степени влияли на итоговую урожайность корнеплодов сахарной свёклы.

#### Предложение производству

Для сохранения большинства показателей почвенного плодородия чернозёма выщелоченного, в том числе физико-химических свойств рекомендуется применение в 9-польном зерносвекловичном севообороте  $N_{120}P_{120}K_{120}$  под сахарную свёклу 2 раза за ротацию на фоне 50 т/га навоза в пару (1 раз за ротацию).

Для контроля кислотности почвы необходимо не менее чем 1 раз в 4–5 лет следует определять гидролитическую кислотность, в наибольшей степени по сравнению с другими физико-химическими свойствами влияющую на урожайность корнеплодов.

Для получения максимального урожая корнеплодов рекомендуется применять  $N_{135}P_{135}K_{135}$  минеральных удобрений под сахарную свёклу на фоне 25 т/га навоза в пару, данная система в незначительной степени ухудшает кислотно-основные свойства черно-

зёма выщелоченного при длительном использовании.

#### Список литературы

1. *Девятова, Т.А.* Ферментативная активность чернозёма выщелоченного при длительном систематическом применении удобрений // *Агрохимия*. — 2006. — № 1. — С. 12–15.

2. *Звягинцев, Д.Г.* Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. — М.: Академия, 2004. — 248 с.

3. *Макеева, Т.Ф.* Мониторинг уровня кислотности в пахотных почвах Орловской области / Т.Ф. Макеева, А.Г. Наконечный, В.М. Казьмин // *Russian Agricultural Science Review*. — 2015. — Т. 6. — № 6-1. — С. 166–172.

4. *Мацнев, И.Н.* Изменение уровня гумусированности и кислотности почв Тамбовской области / И.Н. Мацнев, Н.А. Арзыбов // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. — 2006. — № 1. — С. 79–81.

5. *Минеев, В.Г.* Агрохимия: учебник / В.Г. Минеев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: МГУ; Колос, 2004. — 720 с.

6. *Королёв, В.А.* Изменение основных показателей плодородия чернозёма выщелоченного при разных способах основной обработки / В.А. Королёв, А.И. Громо-

вик, О.К. Боронтов // *Почвоведение*. — 2016. — № 1. — С. 107–114.

7. *Рэуце, К.* Борьба с загрязнением почв / К. Рэуце, С. Кырстя; пер. с румынск. — М.: Агропромиздат, 1986. 220 с.

8. *Сельское хозяйство в России. 2021: стат. сб.* — М.: Росстат, 2021. — 100 с.

9. *Стахурлова, Л.Д.* Биологическая активность как индикатор плодородия чернозёмов в различных биоценозах / Л.Д. Стахурлова, И.Д. Свистова, Д.И. Щеглов // *Почвоведение*. — 2007. — № 6. — С. 769–774.

10. *Сычёв, В.Г.* Плодородие почв сельскохозяйственных земель и эффективность применения удобрений на чернозёмах центральной России / В.Г. Сычёв, А.И. Аристархов, Л.М. Державин // *Чернозёмы центральной России: генезис, география, эволюция: матер. Междунар. конф., посв. 100-летию П.Г. Адерихина*. — Воронеж: ВГУ, 2004. — С. 501–506.

11. *Сычёв, В.Г.* Плодородие почв России и пути его регулирования / В.Г. Сычёв, С.А. Шафран, С.Б. Виноградова // *Агрохимия*. — 2020. — № 6. — С. 3–13.

12. *Щеглов, Д.И.* Основы почвообразования: учеб. пособие / Д.И. Щеглов, Ю.И. Дудкин. — Воронеж: Научная книга, 2017. — 345 с.

**Аннотация.** Длительное применение системы удобрений с повышенной дозой навоза  $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  т/га навоза в зерносвекловичном севообороте обеспечивало наилучшие в опыте физико-химические показатели почвенного плодородия, а также максимальную гумусированность. Наибольшее влияние на урожайность корнеплодов сахарной свёклы оказала гидролитическая кислотность и ёмкость катионного обмена чернозёма выщелоченного. Сложившиеся в вариантах с удобрениями кислотно-основные свойства почвы способны обеспечить урожай корнеплодов сахарной свёклы отечественной селекции с 1 га на уровне 39,4–45,6 т. **Ключевые слова:** сахарная свёкла, удобрения, физико-химические свойства, чернозём, кислотность, основания, урожайность.

**Summary.** Long-term application of the fertilizer system with higher dose of manure ( $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  t/ha of manure) in a grain-beet crop rotation provided the best physical-chemical indices of soil fertility as well as maximum humus content in the experiment. Hydrolytic acidity and cation exchange capacity of leached chernozem had the greatest influence upon sugar beet root yield. Obtained in the variants with fertilizers, acid-base characteristics of soil were able to ensure yield of domestic sugar beet at the level of 39.4–45.6 ton per 1 hectare.

**Keywords:** sugar beet, fertilizers, physical-chemical properties, chernozem, acidity, bases, yield.