

УДК 631.452:631.445.41:631.81:631.582(470.32)

ПЛОДОРОДИЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА КАК РЕЗУЛЬТАТ 85-ЛЕТНЕГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОМ СЕВООБОРОТЕ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

© 2023 г. О. А. Минакова^{1,*}, Л. В. Александрова¹, Т. Н. Подвигина¹

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

*E-mail: olalmin2@rambler.ru

Поступила в редакцию 26.02.2023 г.

После доработки 28.03.2023 г.

Принята к публикации 15.05.2023 г.

Использование удобрений в зерносвекловичном севообороте в течение 85-ти лет в значительной мере изменяло агрохимические свойства чернозема выщелоченного, в наибольшей степени выразившиеся в оптимизации фосфатного режима почвы и менее всего – калийного. Удобренность в большей степени изменяла азотный режим и физико-химические свойства почвы в слое 20–40 см, чем 0–20 см. Установлено, что в почве под посевами зерновых культур содержание P₂O₅ было больше, чем под посевами сахарной свеклы, а K₂O и величина рН_{KCl} – меньше. Наибольшие изменения агрохимических свойств почвы под посевами сахарной свеклы были отмечено при использовании N190P190K190, зерновых – при последствии N135P135K135 + навоз 25 т/га.

Ключевые слова: стационарный опыт, удобрения, сахарная свекла, зерновые, плодородие, элементы питания.

DOI: 10.31857/S0002188123080070, EDN: ZDWCJC

ВВЕДЕНИЕ

Плодородие почвы – ее специфическое свойство, характеризующее накопленные ресурсы вещества, энергии и информации, которые используются растениями в биогеоценозе [1].

Внесение удобрений – один из основных регулируемых факторов, используемых для целенаправленного управления ростом и развитием растений с целью создания высокого урожая хорошего качества [2] и управления почвенным плодородием. Только в стационарных опытах с удобрениями на основе накопления и обобщения экспериментального материала возможна объективная оценка плодородия (эколого-агрохимическая, почвенно-экологическая) и других показателей агроэкосистемы (эколого-земледельческая оценка) [3].

Длительное систематическое применение удобрений в оптимальном для питания растений количестве обеспечивает улучшение плодородия [4]: как повышение содержания гумуса, оптимизацию обменной и гидролитической кислотности, создание положительного баланса и повышение содержания подвижных форм NPK [5–8]. Под влиянием длительного применения удобрений происходит процесс перестройки калийного

фонда, направленность которого определяет генетические свойства почвы, а количественные изменения – дозы и длительность внесения удобрений [7].

Отечественное свекловодство практически полностью обеспечило независимость страны от поставок импортного сырья [9]. Особенностью возделывания сахарной свеклы является применение значительных доз минеральных удобрений под культуру: например, в 2016–2019 гг. в сумме вносили 274–308 кг NPK/га [10], а также проявлением значительного их последствие на урожайность зерновых и трав, возделываемых в свекловичных севооборотах [11–13].

Цель работы – изучение параметров плодородия выщелоченного чернозема как результата 85-летнего применения удобрений в зерносвекловичном севообороте в условиях ЦЧР.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2018–2022 гг. в длительном стационарном опыте по внесению удобрений, заложенном в 1936 г. (пос. Рамонь, Воронежская обл.). Объектом исследования являлась почва стационарного опыта – чернозем

Таблица 1. Погодные условия вегетационных периодов (2018–2022 гг.)

Годы					Среднее за 2018–2022 гг.	Среднее многолетнее (2012–2022 гг.)
2018	2019	2020	2021	2022		
Количество осадков, мм						
231.6	187.5	182.3	298.3	456.8	270.7	382.1
Температура, °С						
17.2	16.3	16.4	16.7	15.5	16.4	15.9
ГТК						
0.8	0.9	0.6	1.0	1.7	1.0	1.27

выщелоченный малогумусный среднemosный тяжелосуглинистый, а также основная продукция сахарной свеклы (корнеплоды), озимой пшеницы, овса и ячменя (зерно), зеленая масса травосмеси горох + овес и клевера. Удобрения применяли в 9-польном зернопаропропашном севообороте со следующим чередованием культур: черный пар–озимая пшеница–сахарная свекла–ячмень с подсевом клевера – клевер 1-го года использования–озимая пшеница–сахарная свекла–однолетние травы (травосмесь горох + овес)–овес. Схема опыта: 1 – контроль без удобрений, 2 – система удобрения I – N45P45K45 + навоз 25 т/га (в сумме за ротацию с учетом навоза вносили 607.5 кг NPK, уровень удобренности пашни – 67.5 кг NPK), 3 – система удобрения II – N90P90K90 навоз + 25 т/га (877.5 кг и 97.5 кг), 4 – система удобрения III – N135P135K135 + навоз 25 т/га (1147.5 кг и 127.5 кг), 5 – система удобрения IV – N120P120K120 + навоз 50 т/га (1395 кг и 155 кг), 6 – система удобрения V – N190P190K190 (1140 кг и 126.7 кг). В качестве минеральных удобрений использовали НАФК (16 : 16 : 16), которую вносили только под сахарную свеклу (2 раза за ротацию) осенью перед основной обработкой почвы (отвальной вспашкой), навоз – один раз за ротацию в пару, прямое действие навоза испытывала озимая пшеница в паровом звене. Остальные культуры использовали последствие удобрений.

Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов систематическое. Площадь опытной делянки и учетной составляла соответственно 133.7 м² и 16.2 м² (зерновые и травы), 10.8 м² – сахарная свекла. Возделывали районированные гибриды сахарной свеклы отечественной селекции (PMS 120, PMS 121, PMS 127), сорта зерновых культур отечественной и белорусской селекции: озимой пшеницы – Безенчукская 380, Скипетр, ячменя – Атаман, Таловский 9, овса – Лев, Золотой дождь, клевера – Трубетчинский местный и Дымковский, горох в травосмеси – сортов АЗМК 99, Риф 12, Топаз.

Почвенные образцы отбирали с глубины 0–20, 20–40, 40–60 см в 3-й декаде мая согласно ГОСТ P58595-2019. Агрохимические анализы произво-

дили в ГЦАС “Воронежский” и лаборатории агрохимии ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова. В свежих образцах определяли содержание нитратного азота по Грандваль–Ляжу, аммонийного азота – по ГОСТ 26489-85, в сухих образцах – содержание подвижного P₂O₅ и обменного K₂O по Чирикову (ГОСТ 26213-91) и рН_{KCl} (ГОСТ 26490-85). Статистическую обработку данных проводили согласно работе (1985) с помощью ПК, регрессионный анализ – программы Excel 2010.

Увлажнение теплых периодов 2018–2022 гг. в Рамонском р-не Воронежской обл. за годы исследования в значительной степени различалось, разница составила 5.2–116 мм (2.85–151%) (табл. 1). Самое большое количество осадков отмечено в 2022 г. (456.8 мм), минимальное – в 2020 г. (182.3 мм).

Самым теплым период с мая по октябрь был в 2018 г. (17.2°С), холодным – в 2022 г. (15.5°С), разницы составила 1.7°С. Гидротермический коэффициент в 2018–2021 гг. свидетельствовал о засушливых условиях, в 2022 г. – об избыточном увлажнении, но в среднем за 5 лет увлажнение также было недостаточным, что подтверждалось суммой осадков (270.7 мм по сравнению с 382.1 мм – среднемноголетней нормой). Выше-сказанное свидетельствует, что теплые периоды последнего 5-летия можно охарактеризовать как засушливые с повышенными температурами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что минимальное содержание N-NO₃⁻ во всех слоях почвы отмечено в варианте N45P45K45 + навоз 25 т/га, максимальное – в варианте N190P190K190 в слое 0–20 см и в варианте N90P90K90 + навоз 25 т/га в слое 40–60 см. Достоверное повышение количества нитратного азота в удобренных вариантах отмечали в слоях 20–40 и 40–60 см на 32.0–40.0 и 15.1–103% (табл. 2) соответственно, тогда как в слое 0–20 см не было статистически доказанного изменения, только в вариантах N190P190K190 и N90P90K90 + навоз

25 т/га была выявлена тенденция к увеличению его содержания.

Содержание N-NO₃ повышалось (кроме контроля, где отмечено снижение на 10.7%), в вариантах с применением удобрений менялось в диапазоне 6.01–39.7%, что свидетельствовало о перемещении элемента из верхнего слоя в средний, наиболее высоким оно было в варианте N90P90K90 + навоз 25 т/га, низким – в варианте N45P45K45 + навоз 25 т/га. К слою 40–60 см относительно слоя 20–40 см наблюдали уменьшение градиента на 26.1–95.8%, более всего – в контроле и в варианте N45P45K45 + навоз 25 т/га, что показало большее обогащение слоя 20–40 см. Минимальное количество нитратного азота выявлено в варианте N190P190K190, что свидетельствовало о более равномерном его распределении. По классификации агрохимической обеспеченности данное содержание в слое 0–40 см позволяет отнести почву к средней обеспеченности (кроме варианта N45P45K45 + навоз 25 т/га – с низкой обеспеченностью).

В слое 0–60 см минимум содержания N-NO₃ также был выявлен в варианте N45P45K45 + навоз 25 т/га, максимум – в варианте N90P90K90 + навоз 25 т/га, удобрения повышали содержание элемента относительно контроля на 26.4–57.1%. Как система удобрения N45P45K45 + навоз 25 т/га относительно контроля, так и система N135P135K135 + навоз 25 т/га относительно варианта N90P90K90 + навоз 25 т/га снижали содержание N-NO₃ на 16.5 и 19.6% соответственно, дозы N90P90K90 + навоз 25 т/га и N190P190K190 увеличивали содержание нитратного азота на 88.2 и 9.40% соответственно, что свидетельствовало о неравномерном повышении содержания данной формы азота под влиянием удобрённости. Возможно это происходило под влиянием других параметров плодородия чернозема и миграции элемента.

От слоя 0–20 см к 20–40 см происходило увеличение нитрификационной способности почвы как в контроле (на 20.4%) (табл. 3), так и в вариантах с удобрениями (на 9.54–19.9%), что свидетельствовало об обогащении слоя 20–40 см растительными остатками – материалом для нитрификации и активации деятельности бактерий-нитрификаторов. Вследствие того, что в слое 0–20 см вариантов с удобрениями отмечали содержание данной формы азота на 39.3–65.0% больше, чем в контроле, а в слое 20–40 см – на 12.5–56.9%, то в этих слоях выявлено уменьшение разницы величины нитрификации по слоям. К слою 40–60 см наблюдали снижение нитрификации на 9.91–36.5% по сравнению с 20–40 см, но относительно контроля она оставалась повышенной на 26.9–44.8%.

В слое 0–60 см удобрения значительно (на 25.7–62.4%) увеличивали нитрификационную

Таблица 2. Содержание N-NO₃ в почве под посевом сахарной свеклы, мг/100 г почвы

Слой почвы, см			
0–20	20–40	40–60	Среднее в слое 0–60 см
Без удобрений			
1.12	1.00	0.62	0.91
N45P45K45 + навоз 25 т/га			
0.86	0.94	0.48	0.76
N90P90K90 + навоз 25 т/га			
1.26	1.76	1.26	1.43
N135P135K135 + навоз 25 т/га			
1.13	1.32	0.99	1.15
N120P120K120 + навоз 50 т/га			
1.14	1.37	1.0	1.17
N190P190K190			
1.32	1.40	1.11	1.28
HCP ₀₅			
–	0.07	0.05	0.12

способность относительно контроля, более всего – в варианте N190P190K190, также высокие показатели процесса отмечали в вариантах N90P90K90 + навоз 25 т/га и N120P120K120 + навоз 50 т/га.

В слое 0–20 см удобренных вариантов содержание подвижного P₂O₅ соответствовало повышенной агрохимической обеспеченности (кроме варианта с минимальной дозой N45P45K45 + навоз 25 т/га). Длительное применение удобрений в течение более 80 лет обеспечивало увеличение показателя на 47.4–152% (табл. 3), максимально – при N190P190K190, минимально – в варианте N45P45K45 + навоз 25 т/га, т.е. отмечена значительная зависимость этого показателя от уровня удобренности, что подтверждено данными корреляционного анализа. В слое 0–60 см повышение составило 38.0–132%, более всего – при внесении N135P135K135 + навоз 25 т/га и N190P190K190.

В слое 20–40 см удобрения повышали содержание P₂O₅ относительно контроля на 28.3–133, в слое 40–60 см – на 64.3–150%. Вариант N135P135K135 + навоз 25 т/га обеспечивал наивысшие показатели, вариант N45P45K45 + навоз 25 т/га – минимальные. Сравнение концентрации элемента по слоям позволило заключить о его накоплении в слое 0–20 см и постепенном снижении к слоям 20–40 и 40–60 см. Наибольший градиент уменьшения содержания от верхнего к нижнему слою отмечен в контроле и в варианте N190P190K190 (22.3 и 43.0% соответственно), наименьший – в варианте N45P45K45 +

Таблица 3. Нитрификационная способность почвы под посевами сахарной свеклы и содержание в ней подвижных фосфора и калия, мг/100 г почвы

Слой почвы, см			
0–20	20–40	40–60	Среднее в слое 0–60 см
Нитрификационная способность, мг/100 г почвы			
Без удобрений			
2.06	2.48	2.23	2.26
N45P45K45 + навоз 25 т/га			
2.87	2.79	2.89	2.87
N90P90K90 + навоз 25 т/га			
3.36	4.02	3.16	3.51
N135P135K135 + навоз 25 т/га			
3.04	3.33	3.00	3.12
N120P120K120 + навоз 50 т/га			
3.40	3.89	3.23	3.51
N190P190K190			
3.72	4.46	2.83	3.67
HCP ₀₅			
0.14	0.17	0.14	0.13
Подвижный P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы			
Без удобрений			
6.07	6.00	4.96	5.68
N45P45K45 + навоз 25 т/га			
8.95	7.70	8.15	8.27
N90P90K90 + навоз 25 т/га			
12.1	11.9	10.4	11.5
N135P135K135 + навоз 25 т/га			
13.8	14.0	12.4	13.4
N120P120K120 + навоз 50 т/га			
10.4	10.6	8.80	9.93
N190P190K190			
15.3	13.7	10.7	13.2
HCP ₀₅			
0.5	0.5	0.5	0.5
Подвижный K ₂ O, мг/100 г почвы			
Без удобрений			
17.5	16.9	14.0	16.1
N45P45K45 + навоз 25 т/га			
19.5	15.0	16.2	16.9
N90P90K90 + навоз 25 т/га			
19.8	18.7	14.3	17.6
N135P135K135 + навоз 25 т/га			
19.2	15.6	15.8	16.9
N120P120K120 + навоз 50 т/га			
23.9	20.8	16.6	20.4
N190P190K190			
19.4	20.6	15.2	18.4
HCP ₀₅			
1.0	1.0	0.7	0.9

+ навоз 25 т/га (9.28%), возможно, вследствие не-высокого поступления P₂O₅ и значительного потребления при минимальной дозе удобрения.

Увеличение дозы удобрений от контроля к максимальной дозе в слое 0–60 см повысило содержание P₂O₅ в растениях относительно контроля на 45.6, 39.1, 16.5%, снизило на 25.9% и вновь повысило на 32.9%, что свидетельствовало о снижении его накопления с увеличением дозы, а система N120P120K120 + навоз 50 т/га несколько снижала его накопление, возможно, вследствие перевода элемента в неизвлекаемое слабой кислотой состояние.

Влияние удобрённости на калийный режим проявилось в увеличении содержания K₂O относительно контроля в слое 0–20 см на 11.4–36.6%, в слое 20–40 см – на 10.7–23.1%, 40–60 см – на 8.57–18.6%, более всего во всех слоях увеличивала его содержание система N120P120K120 + навоз 50 т/га, в слое 20–40 см – N90P90K90 + навоз 25 т/га и N190P190K190, 0–20 и 40–60 см – N135P135K135 + + навоз 25 т/га (табл. 3). Применение удобрений создавало высокий уровень обеспеченности элементом. Градиент концентрации K₂O с глубиной в основном в большинстве вариантов уменьшался, кроме варианта N190P190K190, где в слое 20–40 см было отмечено относительно слоя 40–60 см повышение содержания калия на 35.5%, в варианте N45P45K45 + навоз 25 т/га – на 7.41% в слое 40–60 см (относительно 20–40 см), свидетельствовавшее о накоплении элемента.

Среднее содержание K₂O в слое 0–60 см в удобренных вариантах повысилось относительно неудо-бренного на 4.97–26.7%, наибольший его рост отмечен в вариантах N120P120K120 + навоз 50 т/га и N190P190K190. Увеличение удобренности почвы от контроля к высоким дозам в основном постепенно повышало показатель, кроме варианта N120P120K120 + навоз 50 т/га, где было отмечено значительное, на 20.7% повышение содержания калия относительно более низкой дозы (N135P135K135 + навоз 25 т/га), в варианте N190P190K190 впоследствии отмечали его снижение на 9.8%, свидетельствовавшее об ослаблении накопления элемента.

Удобрённость изменила величину гидролитической кислотности в слое 0–20 см на 0.33–1.42 ммоль-экв (на 9.40–40.5%), в слое 20–40 см – на 0.75–1.55 ммоль-экв (на 21.9–45.5%) относительно контроля (табл. 4). Максимальная величина H_T выявлена в варианте N190P190K190, минимальная – в контроле, из удобренных вариантов – N45P45K45 + навоз 25 т/га. С глубиной показатель повышался в вариантах N45P45K45 + навоз 25 т/га, N90P90K90 + навоз 25 т/га, N135P135K135 + + навоз 25 т/га на 0.28–0.35 ммоль-экв/100 г почвы.

Почва большинства вариантов с удобрениями в слое 0–20 см относилась к слабокислой, а в ва-

Таблица 4. Формы кислотности в почве под посевами сахарной свеклы в 10-й ротации

Слой, см	H_r , ммоль-экв/100 г почвы	pH_{KCl} , ед.	Слой, см	H_r , ммоль-экв/100 г почвы	pH_{KCl} , ед.
Без удобрений			N135P135K135 + навоз 25 т/га		
0–20	3.51	5.92	0–20	4.18	5.42
20–40	3.41	6.05	20–40	4.53	5.37
N45P45K45 + навоз 25 т/га			N120P120K120 + навоз 50 т/га		
0–20	3.84	5.75	0–20	4.51	5.44
20–40	4.16	5.60	20–40	4.28	5.48
N90P90K90 + навоз 25 т/га			N190P190K190		
0–20	4.10	5.43	0–20	4.93	5.31
20–40	4.38	5.34	20–40	4.96	5.29
<i>HCP₀₅</i>					
			0–20	0.22	0.28
			20–40	0.20	0.29

рианте N45P45K45 + навоз 25 т/га и в контроле – близкой к нейтральной. Длительное систематическое применение удобрений привело к снижению показателя на 0.17–0.61 ед. в слое 0–20 см и на 0.45–0.76 ед. – в слое 20–40 см, что свидетельствовало о более значительном изменении этого показателя в нижнем слое. Увеличение уровня удобрений неравномерно повышало величину pH_{KCl} как в верхнем, так и нижнем слое, более всего при дозах N45P45K45 + навоз 25 т/га и N90P90K90 + навоз 25 т/га (на 0.17–0.32 и 0.26–0.45 ед. соответственно), в слое 20–40 см – (в вариантах N120P120K120 + навоз 50 т/га и N190P190K190 только – на 0.11–0.19 ед., что свидетельствовало о более выраженном влиянии невысоких доз удобрений, возможно вследствие низкой буферности почвы [14]. Самая низкая величина pH_{KCl} (KCl - нижний индекс) была отмечена в варианте N190P190K190, самая высокая – в контроле. В слое 0–40 см относительно контроля отмечено снижение величины pH_{KCl} на 0.31–0.66 ед.

Анализ зависимости агрохимических свойств почвы под посевами сахарной свеклы от уровня удобрений выявил, что изменение количества NPK в максимальной мере повышало содержание подвижного P_2O_5 в слоях 0–20 см и 40–60 см, высокая корреляция выявлена для слоя 0–20 см ($r^2 = 0.798$) (табл. 5), а на содержание обменного K_2O не доказано действие удобрений. Нитратный азот проявлял связь только в слое 40–60 см, а кислотные свойства почвы опыта примерно в одинаковой степени зависели от данного фактора, но для pH_{KCl} зависимость была обратной (pH_{KCl} в слое 20–40 см – в несколько большей степени).

Изучение агрохимических свойств почвы под озимыми культурами в севообороте выявило, что величина pH_{KCl} в почве под озимой пшеницей в

паровом звене была на 0.15–0.54 ед. больше, чем в клеверном звене (табл. 6), возможно, как вследствие подщелачивающего влияния навоза, так и подкисления при разложении свежих растительных остатков клевера. Снижение разницы отмечено при повышении уровня удобренности, а доза N120P120K120 + навоз 50 т/га увеличивала эти отличия. Почва парового звена относилась к слабокислой, клеверного – среднекислой. Отмечено изменение величины pH_{KCl} относительно контроля на 0.07–0.37 ед. в клеверном звене и на 0.18–0.25 – в паровом звене, более всего было заметно снижение в варианте N190P190K190. В паровом звене было отмечено увеличение pH_{KCl} при действии низкой дозы удобрений с навозом 25 т/га и высокой их дозы с навозом 50 т/га. Величина pH_{KCl} почвы под озимой пшеницей была на 0.45–0.90 ед. меньше, чем почвы под сахарной свеклой, в клеверном звене – на 0.28–0.70 ед., с увеличением доз разница сокращалась вследствие более значительного их подкисляющего действия под посевами сахарной свеклы.

Последствие удобрений повышало содержание минерального азота ($N-NO_3 + N-NH_4$) относительно контроля на 8.70–38.8% в почве под озимой пшеницей в клеверном звене, а в паровом звене повышение составило 8.10–133%. Содержание подвижного P_2O_5 в почве в клеверном звене в удобренных вариантах повышалось на 21.3–71.6, в паровом – на 28.9–77.2%. Более всего влияние оказывали системы N90P90K90 + навоз 25 т/га, N135P135K135 + навоз 25 т/га и N190P190K190, создавая повышенную обеспеченность элементом питания. Увеличение количества внесенных удобрений последовательно повышало содержание P_2O_5 , кроме системы N120P120K120 + навоз 50 т/га. Действие навоза в дозе 25 т/га проявилось в увеличении содержания элемента в паровом

Таблица 5. Зависимость показателей плодородия выщелоченного чернозема от уровня удобрения

Показатель	Глубина 0–20 см	Глубина 20–40 см	Глубина 40–60 см
N-NO ₃ ⁻	–	–	$Y = 0.001 + 0.565X$ $r^2 = 0.506$
P ₂ O ₅	$Y = 0.014 + 6.23X$ $r^2 = 0.798$	$Y = 0.010 + 6.42X$ $r^2 = 0.632$	$Y = 0.014 + 6.23X$ $r^2 = 0.690$
K ₂ O	–	–	–
H _r	$Y = 0.022 + 3.42X$ $r^2 = 0.871$	$Y = 0.022 + 3.53X$ $r^2 = 0.837$	Не определяли
pH _{KCl}	$Y = -0.011 + 5.91X$ $r^2 = 0.923$	$Y = -0.012 + 5.93X$ $r^2 = 0.802$	

Примечания. 1. Прочерк – связь отсутствует. 2. r^2 – коэффициент корреляции.

Таблица 6. Агрохимические свойства почвы под посевами озимой пшеницы, слой 0–40 см

Озимая пшеница (звено с клевером)				Озимая пшеница (звено с паром)			
pH _{KCl} , ед.	N _{мин}	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH _{KCl} , ед.	N _{мин}	P ₂ O ₅	K ₂ O
	мг/100 г почвы				мг/100 г почвы		
Контроль							
5.09	4.25	7.75	8.20	5.29	3.58	8.07	8.02
N45P45K45 + навоз 25 т/га							
5.02	5.17	9.40	7.70	5.40	8.35	10.4	7.95
N90P90K90 + навоз 25 т/га							
4.96	5.90	11.8	8.10	5.11	6.50	12.8	7.72
N135P135K135 + навоз 25 т/га							
4.94	5.10	12.9	7.80	5.11	5.05	14.3	8.02
N120P120K120 + навоз 50 т/га							
5.00	4.10	11.0	8.20	5.54	3.87	10.4	8.92
N190P190K190							
4.72	4.62	13.3	8.20	5.02	6.52	12.1	7.95
HCP ₀₅							
0.05	0.26	0.6	–	0.06	0.32	5.6	–

звене на 8.47–10.8% относительно клеверного звена. Калийный режим как в звене с клевером, так и с паром, не был подвержен изменениям. Почва относилась к среднеобеспеченной данным элементом.

Содержание P₂O₅ под озимыми в вариантах со средними и высокими дозами удобрений было сопоставимым с таковым под посевами сахарной свеклы, кроме контроля и системы N45P45K45 + + навоз 25 т/га, где в почве под зерновыми культурами содержание элемента было на 12.5–33.6% больше вследствие сниженного относительно сахарной свеклы поглощения. Содержание K₂O в почве под посевами озимых культур было на 52.3–63.2% меньше, чем под сахарной свеклой,

усиление насыщенности удобрениями увеличивало разницу.

В почве как под овсом, так и под ячменем, величина pH_{KCl} не была подвержена достоверным изменениям, под овсом отмечена тенденция к повышению показателя на 0.04–0.13 ед. (табл. 7), под ячменем – к снижению на 0.05 и 0.22 ед., т.к. на ячмень в большей мере влияли удобрения, внесенные под сахарную свеклу (первый год последствий), на овес – в меньшей степени (2-й год последствий). Величина pH_{KCl} в почве под ячменем была на 0.05–0.23 ед. больше, чем под овсом, что возможно, было связано с биологическими особенностями культур. Увеличение разницы отмечено в контроле и при действии системы N120P120K120 + навоз 50 т/га. Кислотность

почвы под посевами овса была больше, чем сахарной свеклы, на 0.47–1.16 ед., ячменя – на 0.34–0.93 ед., удобренность сокращала разницу, в большей степени – под посевом ячменя.

Количество $N_{\text{мин}}$ в почве под посевом ячменя увеличивалось относительно контроля на 23.6–76.1%, под посевом овса не было отмечено достоверного изменения показателя. Наибольшее действие удобренности на почву под посевами яровых культур проявилось на содержании подвижного P_2O_5 (+16.3–44.4% к контролю под посевом овса); повышение уровня удобренности привело к последовательному увеличению показателя на 21.4, 44.3, 16.3 и 42.4% соответственно. В почве под посевом ячменя рост удобренности обеспечивал увеличение содержания P_2O_5 на 6.59–71.4% относительно контроля, возрастающие дозы минеральных удобрений на фоне навоза 25 т/га также способствовали его повышению на 6.59, 42.2 и 13.0%, что свидетельствовало о том, что система $N90P90K90$ + навоз 25 т/га относительно других в наибольшей степени влияла на накопление элемента. По сравнению с сахарной свеклой в почве под посевами яровых зерновых в контроле и при минимальной дозе удобрений содержание P_2O_5 было больше на 11.4–65.3%. Увеличение уровня удобренности способствовало сокращению разницы в содержании элемента в вариантах.

Если в почве под посевом овса было отмечено достоверное увеличение содержания обменного K_2O на 4.00–23.3%, что, возможно, было связано с возделыванием клевера в этом звене севооборота, то под посевом ячменя его содержание не было подвержено изменению, возможно вследствие значительного выноса элемента калиелюбивым предшественником – сахарной свеклой (215–266 кг/га и более) [15]. В почве под посевом ячменя содержание элемента было на 7.04–28.9% больше, чем под посевом овса. Калийный режим почвы под посевом овса был на 53.6–60.7% более интенсивным, чем под посевом сахарной свеклы, ячменя – на 40.2–57.7%.

ВЫВОДЫ

1. Выявлено значительное влияние уровня удобренности на содержание $N-NO_3$, P_2O_5 , K_2O и нитрификационную способность почвы под посевом сахарной свеклы: показатели увеличились относительно контроля на 26.4–57.1, 38.0–132, 4.97–26.7 и 25.7–62.4% соответственно, что свидетельствовало о том, что уровень удобренности более всего влиял на фосфатный режим почвы, менее всего – на калийный режим. Отмечено обогащение почвы $N-NO_3$ и повышение способности синтезировать нитраты в слое 20–40 см, тогда как накопление P_2O_5 и K_2O отмечено в слое 0–20 см.

Таблица 7. Агрохимические свойства почвы под яровыми зерновыми, слой 0–40 см

Овес				Ячмень			
pH_{KCl}	$N_{\text{мин}}$	P_2O_5	K_2O	pH_{KCl}	$N_{\text{мин}}$	P_2O_5	K_2O
ед.	мг/кг почвы			ед.	мг/100 г почвы		
Контроль							
4.83	7.13	9.97	7.50	5.06	5.68	9.10	8.80
$N45P45K45$ + навоз 25 т/га							
4.92	10.8	9.27	7.10	5.01	9.93	9.70	7.60
$N90P90K90$ + навоз 25 т/га							
4.95	5.43	12.1	7.80	5.00	7.02	13.8	8.87
$N135P135K135$ + навоз 25 т/га							
4.87	7.44	14.4	8.07	4.84	10.0	15.6	10.4
$N120P120K120$ + навоз 50 т/га							
4.96	4.97	11.6	9.25	5.11	5.49	11.8	8.47
$N190P190K190$							
4.83	6.79	14.2	7.87	4.91	7.93	11.9	9.22
HCP_{05}							
–	–	7.3	3.0	–	0.42	6.4	–

2. Показатели pH_{KCl} и H_T в наибольшей степени изменялись в слое 20–40 см под влиянием максимальной дозы удобрений $N190P190K190$, изменение с ростом доз происходило нелинейно, вероятно вследствие неодинаковой буферности почвы. Математически доказано, что уровень удобренности в наибольшей степени влиял на физико-химические свойства почвы и содержание подвижного P_2O_5 , а содержание K_2O и $N-NO_3$ не зависело от дозы внесенных удобрений.

3. Обменная кислотность в почве под посевами зерновых культур была на 0.28–1.16 ед, меньше, чем под посевами сахарной свеклы, наибольшая разница отмечена под посевом овса, наименьшая – под посевом озимой пшеницы в клеверном звене. При увеличении доз удобрений разница сокращалась вследствие более значительного подкисляющего их действия под посевом сахарной свеклы. Содержание подвижного фосфора под зерновыми в контроле и при одинарной дозе был на 11.4–65.3% больше, чем в почве под сахарной свеклой. Содержание в почве подвижного K_2O было на 40.2–63.2% меньше, увеличение уровня удобренности почвы под зерновыми культурами способствовало сокращению разницы между вариантами.

4. Наибольшие изменения агрохимических свойств чернозема выщелоченного (повышение содержания NPK и различных форм кислотности), как результат сверхдлительного применения удобрений, были выявлены под посевами сахарной свеклы при использовании дозы $N190P190K190$,

зерновых культур – при последствии системы удобрения N135P135K135 + навоз 25 т/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрид А.С., Королева И.Е., Булгаков Д.С. Плодородие почв, основные понятия // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. Т. 2. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2013. С. 5–8
2. Дзанагов С.Х., Лазаров Т.К., Калоев Б.С. Влияние длительного применения удобрений на показатели роста, урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Агрохимия. 2019. № 4. С. 31–38.
3. Шейджен А.Х. Агрохимия чернозема. Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2015. 232 с.
4. Шейджен А.Х., Онищенко Л.М., Суетов В.П. Плодородие и продуктивность чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в севообороте / Мат-лы Всерос. совещ. научн. учрежд.-участников Географ. сети опытов с удобрениями. М., 2016. С. 326–336.
5. Парамонов А.В., Пасько С.В. Влияние систематического применения удобрений на плодородие почвы в длительном стационарном полевом опыте / Там же. С. 204–209.
6. Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Серегин С.В. Оценка влияния длительного применения минеральных удобрений на свойства почв, качество продукции и накопление ¹³⁷Cs урожаем зерновых культур // Агрохимия. 2017. № 2. С. 64–72.
7. Никитина Л.В. Исследования калийного режима разных типов почв в длительных опытах Геосети // Агрохимия. 2018. № 1. С. 39–51.
8. Волынкин В.И., Волынкина О.В., Копылов А.Н. Изменение почвенного плодородия при длительном применении удобрений в Курганской области // Агрохимия. 2019. № 8. С. 3–13.
9. Прогноз производства сахара снижен до 6.2 млн тонн (обзор рынка): [Электр. ресурс] // Sugar.ru. URL: <https://sugar.ru/node/41457> (дата обращения 15.01.2023 г.).
10. Анасов И.В., Смирнов М.А. Производственно-техническая база свекловодства России // Сахар. 2020. № 10. С. 26–31.
11. Волынкин В.И., Волынкина О.В. Сравнительное действие минеральных и органических удобрений на выщелоченных черноземах Западной Сибири // Плодородие. 2014. № 4 (79). С. 17–19.
12. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И. Последствие 30-летнего применения минеральных удобрений на продуктивность чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья // Плодородие. 2019. № 1 (106). С. 11–14.
13. Куницын Н.А., Минакова О.А. Последствие удобрений, применяемых в севообороте с сахарной свеклой, на плодородие чернозема выщелоченного, урожайность и качество зерновых культур в Центральном Черноземье // Рос. сел.-хоз. наука. 2021. № 6. С. 14–18.
14. Минакова О.А., Александрова Л.В., Подвигина Т.Н. Изменение физико-химических свойств чернозема выщелоченного и урожайности сахарной свеклы при длительном применении удобрений в ЦЧР // Агрохимия. 2021. № 2. С. 37–46.
15. Заришняк А.С., Руцкая С.И., Колибабчук Т.В. Влияние удобрений на потребление элементов питания культурами зерносвекловичного севооборота на черноземе оподзоленном // Агрохимия. 2003. № 6. С. 39–46.

Fertility of Leached Chernozem as a Result of 85-Year Application of Fertilizers in Grain-Beet Crop Rotation under Conditions of the Central Black-Earth Region

O. A. Minakova^{a,#}, L. V. Alexandrova^a, and T. N. Podvignina^a

^aA.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar
p. VNISS 86, Ramonsky district, Voronezh region, Russia

[#]E-mail: olalmin2@rambler.ru

The use of fertilizers in the grain-beet crop rotation for 85 years significantly changed the agrochemical properties of leached chernozem, which were most pronounced in the optimization of the phosphate regime of the soil and least of all – potash. Fertilization changed the nitrogen regime and physico-chemical properties of the soil to a greater extent in a layer of 20–40 cm than –20 cm. It was found that the content of P₂O₅ in the soil under crops of grain crops was higher than under sugar beet crops, and K₂O and pH_{KCl} were less. The greatest changes in the agrochemical properties of the soil under sugar beet crops were noted when using N190P190K190, cereals – with the aftereffect of N135P135K135 + manure 25 t/ha.

Key words: long-term experiment, fertilizers, sugar beet, grain-crops, fertility, nutrient elements.