

## ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ И ПРОДУКТИВНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ЦЧР

О.А. Минакова \*, М.Г. Гетман \*\*, А.Р. Левченко \*\*, Д.В. Пестрецова \*\*

\*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова»

e-mail: olamin2@rambler.ru

\*\*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

**Аннотация.** Изучение динамики почвенного плодородия за 85-летний период применения удобрений в зерносвекловичном севообороте выявило значительное повышение содержания щелочногидролизуемого азота, подвижного фосфора, нитрификационной способности почвы на фоне небольшого подкисления, снижение содержания обменного кальция, увеличение — магния и гумуса. Данный уровень плодородия обеспечивал увеличение урожайности корнеплодов отечественного гибрида относительно контроля на 62,9–120 %, биологического сбора сахара — на 99,2–169 %. Самые высокие показатели продуктивности и почвенного плодородия отмечались на фоне системы удобрения, включающей  $N_{135}P_{135}K_{135}$  — под сахарную свеклу в сочетании с 25 т/га навоза в пару.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, удобрения, навоз, щелочногидролизуемый азот, нитрификационная способность, гумус, кислотность, урожайность, сахаристость.

Для восстановления плодородия почв требуется возмещать элементы питания, отчуждаемые с урожаями возделываемых культур [1]. Под сахарную свеклу вносят удобрения, повышающие содержание минерального азота в почве [2, 3, 4], при этом примерно 50 % используемого элемента усваивается растениями, 20 % — поглощается микроорганизмами и закрепляется в почве, а 15–30 % — теряется в результате нитрификации и денитрификации [5, 6].

Обеспеченность растений азотом оценивается не только путем определения содержания нитратной и аммонийной форм, количество которых в почве невелико и в значительной степени зависит от условий увлажнения, периода вегетации культуры, уклона угодья и других факторов [4, 5, 6]. При этом такой показатель, как щелочногидролизуемый азот почвы по Корнфилду, включающий как аммонийный азот, так

и азот амидов, аминсахаров и частично моноаминокислот, позволяет судить о ближайшем резерве доступного растениям азота в почве [10].

В ряде исследований отмечена значительная роль этой формы азота в питании сахарной свеклы и его приоритетное значение на малоплодородных почвах с низким содержанием минерального азота [11].

Степень обеспеченности растений азотом зависит от интенсивности нитрификации — важнейшего микробиологического процесса, завершающего трансформацию азотсодержащих органических соединений в почве [12].

В многочисленных исследованиях отмечено значительное влияние применения агрохимикатов на содержание щелочногидролизуемого азота, нитрификационную способность почв и их связь с урожайностью культур [4, 8, 10, 11, 13, 14, 15]. Имеются данные о снижении нитрификационной способности почвы под влиянием удобрений [8]. Содержание щелочногидролизуемого азота в почве значительной степени связано с условиями увлажнения вегетационного периода, при нормальном увлажнении ГТК 1,0–1,3 содержание его минимально, так как при этом происходит максимальный его переход в минеральные формы [9].

Валовое содержание фосфора в почве составляет всего 0,1–0,2 %, в то время как он является жизненно важным элементом для растений. Это требует внесения фосфорных удобрений [16]. Обеднение почв подвижным фосфором при длительном выращивании культур без удобрений связано с отчуждением фосфора с товарной продукцией и лишь частичным возвращением в почву в виде пожнивных остатков [17]. Под воздействием удобрений также отмечается повышение содержания  $P_2O_5$  в почвах [18, 19, 20].

Таким образом, оценка динамики содержания азота и подвижного  $P_2O_5$  в результате длительного примене-

ния удобрений позволяет выявить их влияние на продуктивность сахарной свеклы в лесостепи ЦЧР.

### Условия и методика

Гидротермический коэффициент Селянинова за вегетационный период 2021 г. составил 1,18 при норме 1,30. Выпало 295,3 мм осадков при среднемноголетнем показателе 387,4 мм, что на 31,2 % ниже нормы. В апреле, июне и сентябре их количество было выше нормы (на 44,0, 15,6 и 112 %) по сравнению со среднемноголетним показателем. В июле, августе и сентябре выпало в 1,6, 4,35 и 13,5 раза меньше осадков, чем в среднем за 10 лет. Недостаток увлажнения в июле и августе снизил прирост урожайности корнеплодов, что не компенсировалось за счет обильного увлажнения в сентябре.

Температурный режим в период всей вегетации (16,7 °С) был близок к среднемноголетней норме (16,8 °С). Несколько холоднее были апрель, май, сентябрь и октябрь, теплее – июль и август. В сочетании с засухой второй половины лета это значительно замедлило рост растений.

В опыте возделывали гибрид РМС 120 селекции ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова. Почвенное плодородие и урожайность изучали в паровом звене свекло-вического севооборота (черный пар–озимая пшеница–сахарная свекла–ячмень). Минеральные удобрения в виде азофоски вносили с осени под глубокую вспашку, навоз – в черном пару. Нитрификационную способность почвы определяли по методу Почвенного института им. В.В. Докучаева, содержание щелочно-гидролизуемого азота – по Корнфильду, подвижного фосфора – по Чирикову, гумуса – по Тюрину в модификации Симакова, гидролитическую кислотность – по Каппену,  $pH_{KCl}$  – потенциометрическим, содержание  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  – комплексометрическим методом.

### Результаты и обсуждение

Изучение почвенного плодородия показало, что минимальная гидролитическая кислотность (Нг) в слое 0–20 см была на контроле (2,31 ммоль-экв/100 г почвы), максимальная – в варианте  $N_{190}P_{190}K_{190}$  (4,53 ммоль-экв/100 г почвы), в удобренных вариантах она колебалась от 3,26 до 4,53 ммоль-экв/100 г почвы, что свидетельствует о скрытой потенциальной кислотности и повышенном отрицательном влиянии ионов водорода, вытесняемых гидролитически щелочной солью. Доказано повышение величины Нг под действием удобрений на 41,1–96,1 % в слое 0–20 см, на 42,9–99,6 % в слое 20–40 см и 48,2–52,2 % в слое 40–60 см (кроме варианта  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза). Наибольшее влияние на этот показатель оказало применение минимальной нормы удобрений, при увеличении ее в 2 раза он несколько снизился, а в дальнейшем продолжал возрастать на 0,87 и 0,40 ммоль-экв/100 г почвы соответственно. Отмечено снижение показателя при увеличении глубины, особенно – в вариантах  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза и  $N_{190}P_{190}K_{190}$ .

Таблица 1. Физико-химические свойства чернозема выщелоченного и содержание гумуса

Вариант	Глубина, см	Гумус, %	$pH_{KCl}$	Нг,	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$
				Ммоль (экв) /100 г почвы		
Контроль	0–20	4,73	6,182	2,31	25,3	4,2
	20–40	4,42	6,060	2,31	23,4	3,9
	40–60	4,04	6,032	2,49	22,1	3,7
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	0–20	4,71	5,927	3,57	21,8	4,6
	20–40	4,14	6,006	4,52	18,9	3,9
	40–60	4,07	6,097	2,41	18,6	3,9
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	0–20	5,41	5,991	3,26	22,9	3,9
	20–40	5,20	5,918	3,78	22,7	3,9
	40–60	4,51	5,754	3,71	21,9	3,7
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	0–20	5,45	6,101	4,13	23,5	5,1
	20–40	5,01	6,073	3,30	23,5	4,7
	40–60	4,70	5,892	3,69	21,7	4,4
$N_{190}P_{190}K_{190}$	0–20	5,26	5,559	4,53	22,3	4,4
	20–40	5,00	5,803	4,61	21,9	4,2
	40–60	4,59	5,712	3,69	18,6	4,0

В удобренных вариантах отмечено снижение содержания обменного  $Ca^{2+}$  на 7,11–13,8 %, 2,99–19,2 % и 3,52–15,8 % по слоям соответственно, более всего – в варианте  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза и повышение – обменного  $Mg^{2+}$  на 4,76–21,4, 7,69–12,8 и 8,11–18,9 % соответственно, в вариантах с внесением  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза и  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза оно зачастую было не выражено.

Таблица 2. Показатели азотного и фосфорного состояния почвы стационарного опыта, 2021 г.

Вариант	Глубина, см	Нитрификационная способность, $N-NO_3$	Щелочногидролизуемый азот	$P_2O_5$
		мг/100 г сухой почвы		
Контроль	0–20	4,5	13,02	10,52
	20–40	1,9	12,47	9,73
	40–60	0,7	10,96	9,21
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	0–20	6,3	17,38	11,63
	20–40	2,7	18,58	10,23
	40–60	1,0	10,58	9,51
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	0–20	6,0	15,76	16,57
	20–40	2,6	14,60	13,51
	40–60	0,9	13,22	12,76
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	0–20	6,9	14,68	15,76
	20–40	3,6	14,68	13,13
	40–60	1,9	15,95	13,42
$N_{190}P_{190}K_{190}$	0–20	6,2	18,55	13,68
	20–40	2,5	18,62	12,63
	40–60	1,2	17,28	10,78

Таблица 3. Зависимость урожайности корнеплодов от азотного состояния почвы и содержания подвижного  $P_2O_5$

Слой почвы, см	Азотное состояние		Содержание $P_2O_5$	
	уравнение	$R^2$	Уравнение	$R^2$
0–20	$Y = -0,823x_1 + 9,61x_2 - 14,1$	0,962	$Y = 2,294x_3 - 0,948$	0,566
20–40	$Y = -0,239x_1 + 20,1x_2 - 17,0$	0,990	$Y = 3,133x_3 - 6,781$	0,476
40–60	$Y = -0,376x_1 + 14,7x_2 - 18,6$	0,600	$Y = 3,198x_3 - 5,289$	0,587

Примечание:  $x_1$  – щелочногидролизующий азот,  $x_2$  – нитрификационная способность,  $x_3$  – содержание  $P_2O_5$

Таблица 4. Продуктивность сахарной свеклы гибрида РМС 120 в стационарном опыте в 2021 г.

Вариант	Урожайность, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га
Контроль (без удобрений)	17,8	13,61	2,39
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	32,5	16,14	5,25
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	33,1	16,50	5,33
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	39,2	16,32	6,44
$N_{190}P_{190}K_{190}$	29,0	16,37	4,76
НСП <sub>05</sub>	3,60	0,29	0,39

В слое 0–20 см величина  $pH_{KCL}$  составила от 5,559 до 6,182, что позволяет назвать почву близкой к нейтральной и благоприятной для возделывания сахарной свеклы. Снижение  $pH_{KCL}$  в слое 0–20 см относительно контроля составило 0,081–0,592, 0,054–0,257 в слое 20–40 см и 0,278–0,320 (кроме  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза). Наибольшее снижение отмечалось в варианте  $N_{190}P_{190}K_{190}$ , наименьшее – в  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза. Максимальное снижение показателя (на 0,181 и 0,244) с глубиной отмечалось в вариантах  $N_{190}P_{190}K_{190}$  и  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза, что свидетельствует о максимальном отрицательном влиянии повышенных доз удобрений на величину обменной кислотности.

Содержание гумуса в удобренных вариантах составило 4,71–5,45 % (соответствует малогумусному чернозему), а в контроле – 4,73 %. Снижение показателя при увеличении глубины до 20–40 см составило 0,21–0,57 %, до 40–60 см – 0,38–0,90 %. В первом случае не было установлено данной зависимости от уровня удобрений, тогда как во втором случае проявлялась зависимость от доз минеральных удобрений в сочетании с навозом ( $N_{90}P_{90}K_{90}$  и  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза в каждом варианте).

Длительное применение удобрений способствовало повышению содержания гумуса в слое 0–20 см на 0,53–0,72 %; 20–40 см – на 0,58–0,78 %; 40–60 см – на 0,47–0,66 % (кроме варианта  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза). При увеличении удобренности показатель в слое до 40 см он повысился на 0,7 и 0,04 % и в слое от 40 до 60 см снизился на 0,19 %, что свидетельствует о максимальном положительном влиянии дозы  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$

т/га навоза. Дальнейшее повышение доз NPK не обеспечивало увеличения показателя.

Нитрификационная способность в вариантах с удобрениями составила 6,0–6,9 мг/кг почвы, что оценивается как низкий уровень, в контроле – 4,5 мг/кг (очень низкий), что связано с поздним сроком отбора (начало октября). Максимум отмечался при внесении  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза, остальные варианты в целом были примерно на одинаковом уровне. В удобренных вариантах нитрификационная способность повысилась в слое 0–20 см на 37,8–53,3 %; 20–40 см – на 31,6–89,5 %; 40–60 см – на 28,5–171 %. Это связано с усилением деятельности нитрифицирующих бактерий в удобренных вариантах и большей заселенностью ими глубоких слоев почвы. С глубиной данный показатель снижался во всех вариантах, разница между верхним и нижним горизонтами была минимальной в вариантах  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза и  $N_{190}P_{190}K_{190}$ , что является положительным фактом вследствие усиления деятельности бактерий-нитрификаторов.

Содержание щелочногидролизующего азота в экспериментальных вариантах превысило его содержание в контроле на 12,7–42,5 % в слое 0–20 см; на 17,1–49,3 % – в слое 20–40 см и на 20,6–57,7 % – в слое 40–60 см. Максимальная его концентрация по всем глубинам отмечалась при внесении  $N_{190}P_{190}K_{190}$ , минимальная –  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза. Содержание данной формы элементов в контроле соответствовало низкому уровню, в вариантах с удобрениями – среднему. Это говорит о том, что применение удобрений повышало степень обеспеченности на одну градацию. В вариантах с высокой насыщенностью удобрениями ( $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза и  $N_{190}P_{190}K_{190}$ ) изучаемый показатель уменьшался по мере углубления по отношению к контролю и варианту  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза. Применение  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза способствовало повышению содержания щелочногидролизующего азота относительно контроля на 33,5 % в слое 0–20 см, на 49,0 % – в слое 20–40 см, тогда как доза  $N_{190}P_{190}K_{190}$  относительно  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза повышала его на 26,4 и 26,8 % соответственно. В слое 40–60 см двойная доза NPK повышала показатель на 24,9 %, тройная – на 20,6%, а ее увеличение до  $N_{190}P_{190}K_{190}$  – на 8,34 %.

Применение удобрений обеспечивало повышенное содержание  $P_2O_5$  в верхнем слое почвы (11,63–16,57 мг/100 г почвы), почва контроля (10,52 мг/кг почвы) относилась к той же градации. Наибольшее увеличение подвижного  $P_2O_5$  относительно контроля было отмечено в варианте  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза и  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза в слоях 0–20 и 20–40 см и 40–60 см. Удобрения повышали данный показатель на 10,5–57,5; 5,14–38,8 и 3,26–45,7 % соответственно. Минимальное увеличение было отмечено в варианте  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза, наибольшее увеличение

– при  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза (относительно более низкой дозы), дальнейшее увеличение доз удобрений не способствовало росту показателя.

Выявлена отрицательная связь урожайности корнеплодов с содержанием щелочногидролизующего азота, его увеличение в слое 0–20 см в наибольшей степени снижало итоговый показатель, тогда как нитрификационная способность положительно влияла на продуктивность, более всего зависимость проявлялась в слое 20–40 см, менее всего – в слое 0–20 см. Содержание  $P_2O_5$  примерно в одинаковой степени влияло на урожайность сахарной свеклы, но более всего – в слое 40–60 см, где также был отмечен наиболее высокий коэффициент парной корреляции. Из изученных показателей наибольшее влияние на урожайность корнеплодов оказала величина нитрификационной способности почвы, наименьшее – содержание щелочногидролизующего азота.

В связи с засушливыми условиями вегетации уровень урожайности корнеплодов сахарной свеклы был невысоким. В контроле он составил 17,8 т/га, в варианте с внесением  $N_{190}P_{190}K_{190} - 29,0$  т/га и в варианте с  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза – 39,2 т/га, что на 11,2–21,4 т/га или 62,9–120 % превысило контроль. Отмечено также увеличение показателя относительно менее насыщенных удобрениями делянки (от  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза к  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза) на 82,5; 1,85; 18,4 % соответственно, а применение  $N_{190}P_{190}K_{190}$  снижало урожайность на 26,0 % относительно варианта  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза. Это свидетельствует о наибольшей эффективности дозы  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза и наименьшей –  $N_{190}P_{190}K_{190}$ .

Недостаток элементов питания в почве контрольного варианта в значительной степени снижал сахаристость корнеплодов, где она была на 2,53–2,89 % ниже, чем в вариантах с удобрениями. Максимальный показатель (16,32–16,50 %) был отмечен в вариантах с высокими дозами удобрений ( $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза,  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза и  $N_{190}P_{190}K_{190}$ ), несколько ниже (16,14 %) – при внесении  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза.

Сбор сахара в наибольшей степени зависел от урожайности корнеплодов, самым высоким он был при внесении  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза (6,44 т/га), самым низким – в контроле (2,39 т/га). Внесение  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза увеличивало показатель относительно контроля на 120 %,  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза относительно меньшей дозы – на 1,5 %,  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза – на 20,8 %, а  $N_{190}P_{190}K_{190}$  снижало на 26,1 %, что свидетельствует о максимальной эффективности  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза и минимальной –  $N_{190}P_{190}K_{190}$ .

### Заключение

Вегетационный период 2021 г. характеризовался как слабо засушливый, но с длительными периодами засух, что угнетало развитие сахарной свеклы и не

способствовало полной реализации генетического потенциала гибрида РМС 120.

При внесении высоких доз минеральных удобрений на навозном и безнавозном фонах повышалась гидролитическая кислотность, более всего в слое 0–40 см. Внесение  $N_{135}P_{135}K_{135}$  и  $N_{90}P_{90}K_{90}$  вместе с 25 т/га навоза в обоих вариантах увеличивали содержание гумуса. Отмечено снижение  $pH_{KCL}$  при внесении  $N_{190}P_{190}K_{190}$  в слое 0–20 см. В почве большинства удобрённых вариантов отмечено снижение содержания обменного  $Ca^{2+}$  и повышение –  $Mg^{2+}$ .

Закономерности распределения щелочногидролизующего азота по вариантам с удобрениями выявили его значительное увеличение с повышением доз удобрений, наиболее значительную эффективность проявила доза  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза, тогда как наибольшее накопление отмечено в варианте  $N_{190}P_{190}K_{190}$ .

Оценка нитрификационной способности почвы стационарного опыта выявила ее максимальное повышение в варианте  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза, увеличение уровня удобренности сокращало разницу между величиной показателя в верхнем и нижнем слое, что свидетельствует о его повышении в глубоких слоях.

Фосфатный режим чернозема выщелоченного в слое 0–20 см был оптимальным при внесении  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза и  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза, повышаясь относительно контроля до 10,5–57,5 %.

Согласно уравнениям регрессии, урожайность сахарной свеклы в наибольшей степени определялась величиной нитрификационной способности почвы, более всего на глубине 20–40 см, несколько меньше –  $P_2O_5$  на этой же глубине, а также в слое 40–60 см, минимально – щелочногидролизующего азота.

Применение  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза обеспечило наибольшую прибавку урожайности корнеплодов и биологического сбора сахара с 1 га отечественного гибрида РМС 120 в засушливых условиях 2021 г., эта доза, а также  $N_{190}P_{190}K_{190}$  и  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза способствовали накоплению максимального в опыте количества сахарозы в корнеплодах.

### Список литературы

1. Стахурлова, Л.Д. Учение о почвах. / Л.Д. Стахурлова, Т.А. Девятова. - Воронеж: Издательский дом ВГУ. - 2022. - 219 с.
2. Павленкова, Т.А. Изменение количества нитратного, аммиачного азота, биологической активности почвы при использовании удобрений / Т.А. Павленкова // Аграрный вестник Урала. - № 3 (45). - 2008. - С. 68-69.
3. Баршадская, С.И. Плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность основных сельскохозяйственных культур / С.И. Баршадская, А.А. Квашин, Ф.И. Дерка // Плодородие. - 2011. - № 2 (59). - С. 36-39.
4. Черепухина, И.В. Зависимость содержания доступных форм азота в почве от скорости разложе-

ния соломы зерновых культур / И.В. Черепухина, Н.В. Безлер, М.В. Чистотин, Ю.Ю. Хатунцева // Плодородие. - 2019. - № 5 (110). - С. 37-41.

5. Кореньков, Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений / Д.А. Кореньков. - М.: ГУП «Агропрогресс», 1999. - 152 с.

6. Сычев, В.Г. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора. Калия, гумуса, кальция / В.Г. Сычев, П.Д. Музыкантов, Н.К. Панкова. - М.: РАСХН, 2000. - 40 с.

7. Тамбовцева Л.В. Продуктивность культур в зерно-свеклово-пшеничном севообороте и азотный режим чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в ЦЧР / Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. сельскохозяйственных наук / Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. - Воронеж, 2009.

8. Уваров, Г.И. Азотный режим чернозема в зависимости от приемов агротехники / Г.И. Уваров, А.П. Карабутов, Я.Ю. Боровская // Сахарная свекла. - 2014. - № 8. - С.14-17.

9. Караулова, Л.Н. Динамика щелочногидролизующего азота в условиях ЦЧР / Л.Н. Караулова / Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса. Коллективная монография. Под редакцией В.В. Окоркова. Иваново: ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», 2019. - С. 126-130.

10. Девятова, Т.А. Изменение скорости окислительно-восстановительных и гидролитических процессов в черноземах под влиянием технологии выращивания сельскохозяйственных культур / Т.А. Девятова, Ю.С. Горбунова, В.Ю. Мазнев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: химия, биология, фармацевтика. - 2021. - № 3. - С. 5-9.

11. Ильюшенко, И.В. Оптимизация применения минеральных удобрений под сахарную свеклу в зависимости от агрохимических свойств черноземов / И.В. Ильюшенко // Агрохимический вестник. - 2015. - № 3. - С. 39-42.

12. Умаров, М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве / М.М. Умаров, А.В. Кураков, А.Л. Степанов. - М.: ГЕОС, 2007. - 138 с.

13. Колесникова, М.В. Динамика содержания щелочногидролизующего азота в почве после заделки растительных остатков с *Humicola Fuscoatra* ВНИИСС 016 / М.В. Колесникова // Научный альманах. - 2018. - 5-3 (43). С. 23-26.

14. Чекаев, Н.П. Изменение запасов элементов питания в почве в зависимости от норм известкового мелиоранта и минеральных удобрений / Н.П. Чекаев, А.А. Галиуллин // Сурский вестник. - 1 (17). - 2022. - С. 31-35.

15. Аль Дхухайбави, Х.Х. Агрохимические свойства чернозема типичного в зависимости от минеральных удобрений и предшественников озимой пшеницы /

Х.Х. Аль Дхухайбави, С.И. Смуров, С.Н. Зюба, М.А. Куликова, А.Г. Ступаков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. - № 1 (25). - 2020. - С. 146-154.

16. Сычев, В.Г. Тенденции изменения агрохимических показателей и прогноз состояния плодородия почв / В.Г. Сычев // В сб.: Прогноз состояния и научное обеспечение плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. Материалы XI Международного симпозиума НП «Содружество ученых агрохимиков и агроэкологов», 2017. - С. 4-28.

17. Трунов, И.А. Влияние фосфорных удобрений на урожайность озимой пшеницы / И.А. Трунов, И.Н. Мащнев, А.Я. Дубовик, А.В. Шатилов // Университет им. В.И. Вернадского. - №2 (12). - 2008. - Том 2. - С. 53-59.

18. Курносова, Е.В. Антропогенное воздействие на фосфатный режим черноземной почвы / Е.В. Курносова, Г.Е. Гришин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2013. - № 3 (23). - С. 19-24.

19. Еремин, Д.И. Динамика подвижного фосфора пахотного чернозема при длительном использовании органоминеральной системы удобрения в лесостепной зоне Зауралья / Д.И. Еремин // Плодородие. - 2015. - № 4 (85). - С. 13-16.

20. Навольнева, Е.В. Влияние агротехнических приемов на содержание подвижного фосфора в почве / Е.В. Навольнева, В.В. Захарова // Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция. Сб. докл. 3-й Всеросс. научно-практ. интернет-конф. молодых ученых и специалистов с междунар. участием. - 20-22 марта 2019 г. - Саратов, 2019. - С. 162-166.

### **Dynamics of soil fertility indices and sugar beet productivity under conditions of a long-term fertilizer application in the Central Black-Earth Region**

**O.A. Minakova, M.G. Getman, A.R. Levchenko & other**

*Summary.* Studying of soil fertility dynamics as a result of fertilizer application in a grain-beet crop rotation during 85 years revealed significant content increase of alkaline hydrolysable nitrogen, mobile phosphorus and nitrification capacity of soil in combination with some acidation, reduction of exchange calcium content and increase the one of magnesium and humus. This fertility level provided increase of beet root yield by 62.9-120 % and biological sugar yield by 99.2-169 %, as compared to the control. The greatest values of productivity and soil fertility were ensured by the fertilizing system of  $N_{135}P_{135}K_{135}$  for sugar beet together with 25 t/ha of manure in fallow.

**Key words:** sugar beet, fertilizers, manure, alkaline hydrolysable nitrogen, nitrification capacity, humus, acidity, yield, sugar content.