

УДК [631.8:631.582]:631.448(470.32)

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТЕ
С САХАРНОЙ СВЕКЛОЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЕМА
ВЫЩЕЛОЧЕННОГО И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТА
В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО
РЕГИОНА РФ

О.А. МИНАКОВА¹, Л.В. ТАМБОВЦЕВА¹, Л.В. АЛЕКСАНДРОВА¹, А.И. ГРОМОВИК²

(¹ ГНУ Всероссийский НИИ сахарной свеклы имени А.Л. Мазлумова
Россельхозакадемии; ГОУ ВПО «Воронежский государственный университет»)

Длительно применяемые в севообороте с сахарной свеклой удобрения способствуют значительному изменению показателей эффективного и стабилизации потенциального плодородия, что приводит к увеличению продуктивности культур севооборота. Отмечается динамика гумусового, азотного, фосфатного и калийного режима, микроэлементного состава, биохимических и физико-химических свойств чернозема выщелоченного, а также баланса элементов питания в севообороте.

Ключевые слова: плодородие, гумусовое состояние, нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий, баланс, продуктивность.

FERTILIZERS APPLICATION INFLUENCE IN CROP ROTATION WITH
SUGAR BEET ON BOTH LEACHED BLACK-SOIL FERTILITY AND CROP
ROTATION PRODUCTIVITY UNDER CONDITIONS OF FOREST-STEPPE
IN CENTRAL BLACK-SOIL AREA OF THE RUSSIAN FEDERATION

O.A. MINAKOVA¹, L.V. TAMBOVTSEVA¹, L.V. ALEXANDROVA¹, A.I. GROMOVIK²

(¹ State Research Organization «The Mazlumov All-Russian Research Institute
of Sugar Beet»; GOU VPO «Voronezh State University»)

Fertilizers applied in a crop rotation with sugar beet for a long time favour significant change of efficient fertility indices and stabilization of potential fertility that leads to increased productivity of crops in the crop rotation. The dynamics of humus, nitrogen, phosphate and potassium status, microelement composition, biochemical and physical-chemical characteristics of leached black earth as well as balance of nutrient elements in the crop rotation are observed.

Key words: fertility, humus state, nitrate nitrogen, labile phosphorus, exchange potassium, balance, productivity.

Многолетними научными исследованиями и мировой практикой земледелия все более подтверждается положение, что средства химизации — материальная основа плодородия почв, богатства и могущества страны [8]. Для создания высоких урожаев сахарная свекла потребляет значительное количество элементов питания из почвы [5], что должно быть компенсировано применением значительных доз удобре-

ний [10, 2, 9]. Для решения этих задач необходимо в течение длительного времени изучать содержание гумуса, элементов питания, физико-химических свойств, биохимического состояния, агрофизических показателей, которые подвержены значительным изменениям при внесении удобрений [4, 7, 8, 1, 3]. Чтобы отследить динамику показателей почвенного плодородия, необходим систематический контроль в рамках стационарных опытов Географической сети [8]. Таким образом, возникает необходимость системной оценки и прогноза показателей плодородия.

Целью исследований было определение степени изменения показателей плодородия чернозема выщелоченного при условии длительного внесения минеральных удобрений и навоза в зернопаропропашном севообороте.

Задачи исследования:

1. Установить эффективность и направленность влияния длительного применения удобрений в севообороте с сахарной свеклой на химические, агрохимические, физико-химические, агрофизические показатели плодородия чернозема выщелоченного.

2. Оценить влияние удобрений на биохимическое состояние, фитотоксичность и содержание тяжелых металлов в почве.

3. Выявить воздействие уровня удобренности на продуктивность культур севооборота и баланс элементов питания.

Методика исследования

Исследования проводились в 2000-2010 гг. в стационарном опыте по изучению эффективности доз минеральных удобрений и навоза, заложенном в 9-польном зернопаропропашном севообороте (год закладки 1936). Чередование культур в севообороте: черный пар — озимая пшеница — сахарная свекла — ячмень — клевер — озимая пшеница — сахарная свекла — однолетние травы — овес. К настоящему времени в севообороте идет 9-я ротация. Минеральные удобрения получают только сахарная свекла в дозах от $N_{45}P_{45}K_{45}$ до $N_{190}P_{190}K_{190}$ (насыщенность 1 га севооборотной площади от $N_{10}P_{13}K_{10}$ до $N_{33}P_{33}K_{33}$), навоз вносится в черном пару 1 раз за ротацию в дозе 25-50 т/га (насыщенность 2,8-5,6 т на 1 га севооборотной площади). Опыт находится в подзоне неустойчивого увлажнения лесостепной зоны ЦЧР, средняя сумма осадков за год — 622,7 мм, среднегодовая температура + 8,3°C.

Схема стационарного опыта по внесению минеральных удобрений и навоза в зерносвекловичном севообороте

Вариант	Внесение минеральных удобрений, кг д.в. на 1 га			Навоз в пар, т/га	Уровень насыщенности 1 га севооборотной площади удобрениями, кг			
	N	p_2O_5	K_2O		N	p_2O_5	K_2O	навоз
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	45	60	45	25	10	13,3	10	2,8
3	90	120	90	25	20	26,6	20	2,8
4	135	180	135	25	30	39,9	30	2,8
8	120	120	120	50	27	27	27	5,6
9	45	60	45	50	10	13,3	10	5,6
10	190	190	190	0	42	42	42	0
11	150	150	150	50	33	33	33	5,6

В почве определяли общее содержание гумуса (по И.В. Тюрину в модификации В.Н. Симакова) (ГОСТ 26213-91); групповой и фракционный состав гумуса — по методу И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой; количество нитратного азота — по Грандваль-Ляжу (ГОСТ 26951-86); содержание подвижного P_2O_5 (по Ф.И. Чирикову) (ГОСТ 26204-91); концентрацию подвижного K_2O (ГОСТ 26204-91). Определение активности нитратредуктазы в почве проводили по методу А.Ш. Галстяна, уреазы, протеазы, фосфатазы — методом Ф.Х. Хазиева, каталазы — газометрически, инвертазы — по учету редуцирующих сахаров (метод Бертрана); содержание микроэлементов в ацетатно-аммонийном буфере ($pH = 4,8$) — на атомно-абсорбционном спектрофотометре С115М; pH водной (потенциометрически); pH солевой (потенциометрически); величину гидролитической кислотности (по Каплену) (ГОСТ 26212-91); степень насыщенности почвы основаниями (расчетным методом), структурно-агрегатный состав — по Савинову; водопотребление — по Долгову, липкость — по Качинскому, твердость — по Ревякину, дифференциальную пористость — по Качинскому.

На посевах культур учитывали: урожайность листьев и корнеплодов методом учетных площадок ($10,8 \text{ м}^2$); урожайность зерновых культур — бункерный учет ($40,5 \text{ м}^2$); урожайность одно- и многолетних трав — метод пробных площадок (25 м^2); баланс элементов питания — расчетным методом.

Математическая обработка результатов опыта проведена методами дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (1985), также с использованием программ Microsoft Excel 2007 для ПК.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что длительное применение удобрений приводит к сдерживанию процессов дегумификации чернозема выщелоченного, что способствует росту содержания гумуса на $0,32-0,86\%$ относительно удобренного варианта. Наиболее подвержен изменениям лабильный гумус, его количество в вариантах с 50 т/га навоза в пар повышалось на 87% . Процесс трансформации состава гумуса протекает по пути распределения фракций за счет увеличения ГК1 и ГК3 при одновременной убыли ГК2 и снижения доли ФК1а, ФК1 и ФК3, в результате чего увеличивается степень гумификации органического вещества и расширяется диапазон $C_{ГК}:C_{ФК}$, особенно при внесении $N_{120}P_{120}K_{120} + 50 \text{ т/га}$ навоза в пар. Относительно целинного участка в почве опыта происходит снижение доли фракций ГК1 и ГК2 на $13-36$ и $33-39\%$ и фракций ФК1 и ФК2 — на $13-22$ и $13-17\%$ при одновременном накоплении фракций ГК3, ФК1а и ФК3 — на $60-108\%$, $37-73$ и $27-110\%$ с повышением доли гумина на 26% . На основании прогноза гумусового состояния выявлено, что уровень гумусированности почвы при действии разных систем удобрения наиболее значительно изменяется в первые годы их применения, затем его содержание стабилизируется и очень медленно меняется во времени в результате перехода процессов гумусообразования в квазиравновесное состояние с деградационными явлениями. Наибольшую стабилизацию обеспечивает применение $N_{45-120}P_{45-120}K_{45-120}$ под сахарную свеклу совместно с 50 т/га навоза в пару. Эти дозы в наибольшей степени повышают энергопотенциал органического вещества почвы (на $411-428 \text{ ГДж/га}$), а также сохраняют высокий энергетический показатель устойчивости почвы к антропогенным нагрузкам в течение длительного времени.

Изучение динамики $N-NO_3^-$ по ротациям выявило, что при применении удобрений в 1-й ротации отмечался значительный рост его содержания в почве относительно контроля (рис. 1). В 2-5-й ротациях отмечалось снижение общего уровня

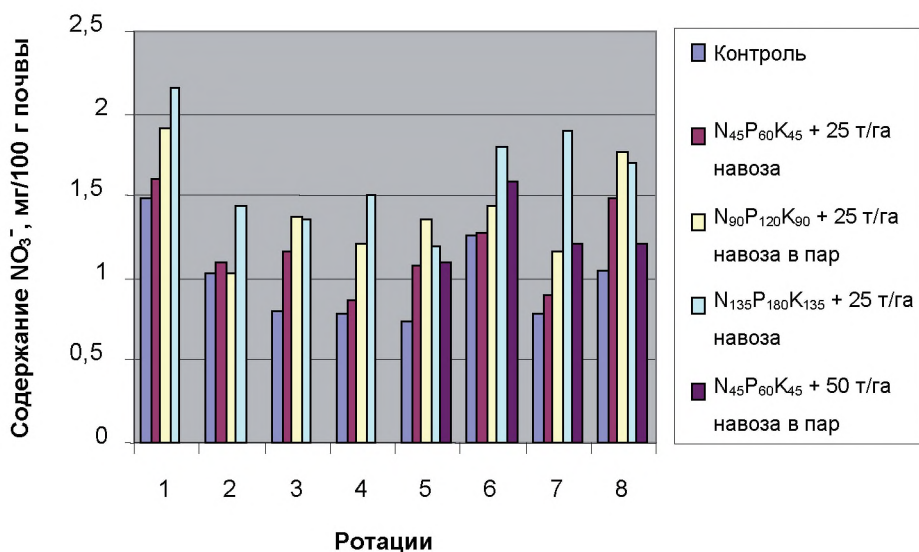


Рис. 1. Содержание N-NO₃ в почве стационарного опыта по ротациям, слой 0-20 см (1936-2008)

относительно начала опыта, а в дальнейшем дозы минеральных удобрений, вносимых под сахарную свеклу, в двух полях севооборота — N₁₃₅P₁₈₀K₁₃₅ + 25 т/га навоза и N₉₀P₁₂₀K₉₀ + 25 т/га навоза, N₄₅P₆₀K₄₅ + 50 т/га навоза в пару — способствовали повышению количества N-NO₃⁻.

Изменение азотного режима чернозема выщелоченного выразилось в увеличении содержания N-NO₃⁻ в 8-й ротации в начале развития сахарной свеклы на 41,8-110,8%, NN₄⁺ — на 39,1-141,3% и щелочногидролизуемого — на 41,5-84,6%. Применение удобрений увеличивало обеспеченность минеральным азотом с низкой до средней. Прогноз содержания общего азота выявил, что при внесении N₄₅P₆₀K₄₅ + 50 т/га навоза в пар отмечались минимальные темпы снижения содержания общего азота (0,001-0,002% за 10 лет), а в неудобренном варианте и при применении N₄₅₋₁₃₅P₄₅₋₁₃₅K₄₅₋₁₃₅ + 25 т/га навоза в пар скорость снижения была гораздо выше (0,003-0,007%).

От 1-й к 3-й ротации отмечался значительный рост количества P₂O₅ в почве стационарного опыта (рис. 2), в дальнейшем наметилось некоторое снижение его содержания вследствие перехода минерального фосфора в другие формы почвенных фосфатов. В 8-й ротации был отмечен некоторый рост показателя относительно 6-7-й ротации. Наибольшее количество минерального P₂O₅ было при внесении N₁₃₅P₁₈₀K₁₃₅ + 25 т/га навоза в пару, N₄₅P₆₀K₄₅ + 50 т/га навоза в пару, несколько меньшее — при применении N₉₀P₁₂₀K₉₀ + 25 т/га навоза в пару. В почве варианта без удобрений ко 2-й ротации произошло некоторое его увеличение, что, очевидно, связано с переходом малоподвижных фосфатов почвы в подвижное состояние. В дальнейшем (в 4-7-й ротациях) в этом варианте отмечалось снижение количества P₂O₅, что объясняется истощением фосфатного фонда почвы.

На основании прогноза количество подвижного P₂O₅ будет увеличиваться наиболее быстро при внесении N₁₃₅P₁₈₀K₁₃₅ + 25 т/га навоза (2,94 мг/100 г за десятилетие-

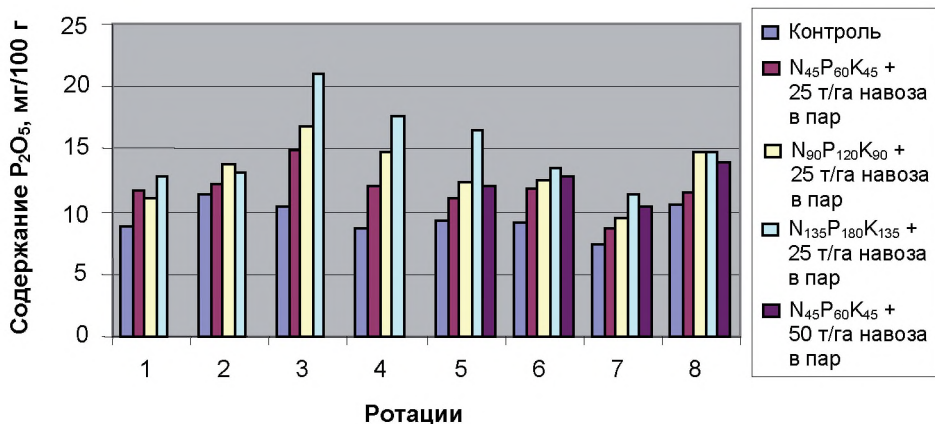


Рис. 2. Содержание подвижного P₂O₅ по ротациям севооборота в звене с черным паром, 1936-2008 гг.

тие), несколько медленнее — при внесении N₉₀P₁₂₀K₉₀ +25 т/га навоза (0,7 мг/100 г за десятилетие). Применение N₄₅P₆₀K₄₅ + 25 т/га навоза в пар и вариант без удобрений будут способствовать дальнейшему снижению содержания минерального фосфора в почве.

Содержание обменного K₂O имело тенденцию к значительному росту при внесении удобрений в 1-3-й ротации и менее значительному — в 7-8-й ротации, что связано с необменным поглощением элемента и запаковкой в кристаллическую решетку глинистых минералов (рис. 3). Относительно 1-3-й ротации отмечалось снижение уровня K₂O в 4-8-й ротациях, особенно при внесении под сахарную свеклу N₁₃₅P₁₈₀K₁₃₅ + 25 т/га навоза пару и N₁₃₅P₁₈₀K₁₃₅ + 25 т/га навоза в пару. Применение

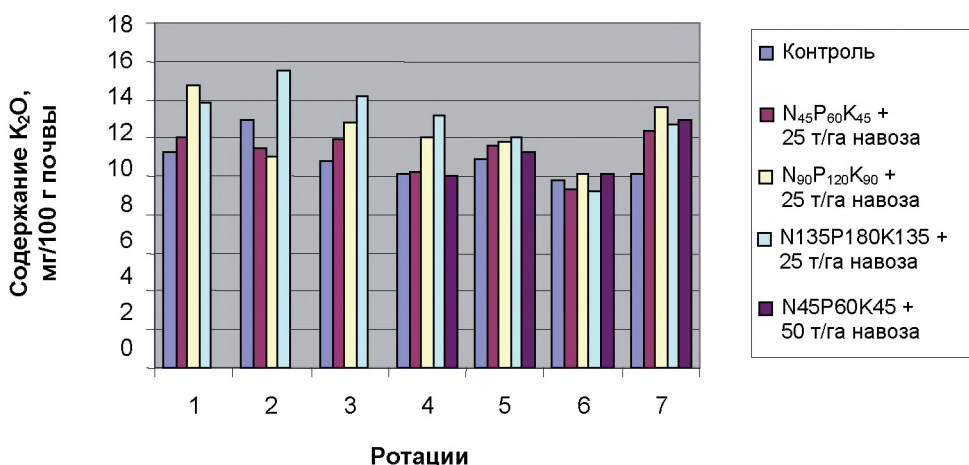


Рис. 3. Содержание обменного K₂O по ротациям севооборота в звене с черным паром, 1936-2008 гг.

$N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза в пару содействовало небольшому росту количества данного элемента. В целом относительно 1-й ротации количество калия снижалось.

На основании составленного прогноза содержания обменного K_2O при существующих дозах удобрений его количество будет снижаться, наиболее быстро — при внесении $N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза и $N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза в пару, что связано с низкой компенсацией калием удобрений и высоким выносом культур. Стабилизация содержания этого элемента обусловлена только внесением $N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза в пар.

Длительное применение удобрений способствовало повышению подвижности Zn и Co (соответственно на 9,3-12,7 и 14,1-14,5%), увеличению содержания в почве As — на 22,4-26,3%, В — на 31-46%, Zn — на 20,6-47,0%, Си — на 15,6-87,5%, Мо — в 1,2-3,8 раза. Под влиянием применения удобрений увеличивался вынос этих элементов с урожаем культур севооборота.

Отмечалось повышение уреазной активности на 17,4-26,9% в верхнем слое почвы под влиянием применения $N_{190}P_{190}K_{190}$ и $N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза. Внесение высоких доз минеральных удобрений, а также $N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза обусловило увеличение активности протеазы на 23,2-54,2%. Активность нитратредуктазы увеличивалась при внесении $N_{45}P_{60}K_{45} + 25-50$ т/га навоза и $N_{90-135}P_{120-180}K_{90-135} + 25$ т/га навоза в пар. Снизилась фосфатазная активность на 65,7-105,0%, особенно при использовании $N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза в пар и $N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза. На удобренных вариантах отмечался рост активности каталазы на 7,9-21,4%. Инвертазная активность не была подвержена изменениям, кроме варианта $N_{190}P_{190}K_{190}$.

Изменение физико-химических свойств почвы стационарного опыта выразилось в увеличении гидролитической кислотности на 31,8-45,2%; повышении кислотности водной вытяжки — на 0,3-0,7 единиц рН, обменной кислотности — на 0,3-1,0 единицы; потере Ca^{2+} и Mg^{2+} , снижении суммы обменных оснований — на 5-6%. Максимальное повышение Нг прогнозируется при внесении $N_{10-20}P_{13-27}K_{10-20} + 2,8$ т/га навоза (+0,07-0,32 мг-экв.), минимальное — при применении $N_{10}P_{13}K_{10} + 5,6$ т/га навоза на 1 га севооборотной площади.

Отмечалось улучшение структурно-агрегатного состава (за счет увеличения содержания агрегатов размером 2-1 мм и снижения содержания глыбистой фракции) и увеличение водопрочности почвенной структуры под влиянием удобрений, но большее влияние на эти показатели оказывало наличие клевера в севообороте. Длительно применяемые удобрения способствуют снижению межагрегатной пористости, увеличению пористости агрегата и суммарной агрегатной пористости. Высокие дозы минеральных удобрений способствуют повышению твердости и липкости почвы, а внесение повышенных доз навоза, а также возделывание клевера в севообороте снижали эти показатели. При внесении удобрений увеличивается водопотребление сахарной свеклы, но не изменяются запасы влаги в почве.

Применение $N_{30}P_{40}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, $N_{10}P_{13}K_{10} + 5,6$ т/га навоза, $N_{33}P_{33}K_{33} + 5,6$ т/га навоза на 1 га севооборотной площади способствовало созданию положительного баланса азота в севообороте, внесение $N_{30}P_{40}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, $N_{33}P_{33}K_{33} + 5,6$ т/га навоза на 1 га севооборотной площади — фосфора, баланс калия во всех вариантах был отрицательным, а интенсивность — менее 100%. Наименьший дефицит создавался при внесении $N_{33}P_{33}K_{33} + 5,6$ т/га навоза на 1 га севооборотной площади (интенсивность 72,7%).

Наибольшее положительное влияние длительное систематическое применение удобрений оказало на урожайность сахарной свеклы, озимой пшеницы в звене с черным паром, меньшее — на урожайность многолетних трав, гороха, ячменя, не-

значительное — на урожайность озимой пшеницы в звене с черным паром и овса. От 1-й к 8-й ротации отмечался рост прибавок урожайности корнеплодов на фоне $N_{30}P_{40}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{20}P_{27}K_{20} + 2,8$ т/га навоза на 1 га севооборотной площади как в звене с многолетними травами, так и в звене с паром. Наибольшая окупаемость удобрений урожаем корнеплодов сахарной свеклы и энергетическая эффективность отмечалась на фоне низких доз минеральных удобрений в сочетании с навозом при насыщенности 2,8-5,6 т/га (40,4-44,2 кг/кг). В связи с существенным снижением естественного плодородия почвы без применения удобрений прибавка продуктивности севооборота при внесении максимальных доз удобрений составила 41,3%.

Выводы

1. Изменение гумусового состояния чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений выражалось в относительном повышении содержания общего гумуса и гуминовых кислот в его составе с одновременным снижением содержания фульвокислот.

2. Изменение азотного состояния почвы под влиянием средних и высоких доз удобрений выразилось в стабилизации содержания общего азота и в увеличении содержания минеральных и щелочногидролизующих форм.

3. Динамика содержания подвижного фосфора от момента закладки заключалась в начальном быстром росте и дальнейшей стабилизации с прогнозом увеличения в вариантах с высокими дозами удобрений.

4. Динамика содержания обменного калия характеризовалась его значительным повышением в 1-2-й ротациях с последующим снижением; прогноз предполагает его снижение.

5. Применение удобрений способствует увеличению содержания микроэлементов в почве и их подвижности.

6. Под влиянием средних и высоких доз удобрений происходит усиление ферментативной активности почвы (кроме инвертазной).

7. Одообрения значительно подкисляли почву опытного участка, несколько снижали количество обменных оснований, кислотность будет расти и в будущем.

8. Применение навоза оказывало оптимизирующее влияние на физические свойства почвы.

9. Применение высоких доз удобрений совместно с 25-50 т/га навоза в пар создавало положительный баланс азота и фосфора в севообороте и отрицательный — калия.

10. Изменение почвенного плодородия под влиянием длительного внесения удобрений привело к увеличению продуктивности сахарной свеклы, озимой пшеницы в звене с черным паром, ячменя, многолетних трав, гороха.

Заключение

Установлено, что происходят значительные изменения гумусового, азотного, фосфатного и калийного режима, микроэлементного состава почвы, биохимических и физико-химических свойств чернозема выщелоченного, а также баланса элементов питания в севообороте. В меньшей степени наблюдалась динамика физических показателей.

Следовательно, длительное применение минеральных удобрений и навоза в севообороте с сахарной свеклой способствует росту ряда показателей эффективного и стабилизации потенциального плодородия чернозема выщелоченного, а также увеличению продуктивности культур севооборота.

Библиографический список

1. *Байбеков Р.Ф.* Длительное применение удобрений. М.: ВНИИА. 2003. 85 с.
2. *Гурев П.П.* Модернизированный технологический комплекс производства сахарной свеклы // Сахарная свекла, 2008. № 8. С. 13-15.
3. *Доманов Н.М.* Изменение элементов почвенного плодородия чернозема типичного в длительных опытах с удобрениями / Н. Д. Доманов, К.Б. Ибадуллаев, П.И. Солнцев. Научно-

практические основы сохранения и воспроизводства плодородия почв ЦЧЗ. Каменная степь, 2008. С. 6-10.

4. *Кураков В.И.* Влияние удобрений на воспроизводство почвенного плодородия, урожайность и качество сахарной свеклы в севообороте. Автореф. докт. дис. М., 1992. 46 с.

5. *Кураков В.И.* Влияние длительного применения минеральных удобрений на вынос основных элементов питания культурами зерносвекловичного севооборота / В.И. Кураков, В.В. Ситникова, О.А. Минакова // Сахарная свекла, 2004. № 10. С. 11-13.

6. *Никольников И.М.* Пути воспроизводства плодородия почв, повышения урожайности и качества культур в севообороте. Автореф. докт. дис. Рамонь, 2002. С. 14.

7. *Ступакое А.Г.* Агрохимическое обоснование системы удобрения зерносвекловичного севооборота на черноземе выщелоченном. Автореф. докт. дис. М., 1998. 36 с.

8. *Сычев В.Г.* Состояние и стратегия развития агрохимического обслуживания сельскохозяйственного производства России на период до 2010 года / В.Г. Сычев, А.Н. Аристархов // Плодородие, 2004. № 5. С. 2-6.

9. *Турусов В.И.* Адаптивная ресурсосберегающая технология производства сахарной свеклы в условиях ЦЧЗ/В.И. Турусов, А.М. Новичихин, С.В. Мухина. Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГАУ 2009. 32 с.

10. *Шевченко В.Е.* Биологизация и адаптивная интенсификация земледелия в Центральном Черноземье /В.Е. Шевченко, В.А. Федотов. Воронеж: ВГАУ, 2000. С. 306.

Информация об авторах

Минакова Ольга Александровна — д. с.-х. н., зав. лаб. агрохимии ГНУ Всероссийский НИИ сахарной свеклы имени АЛ. Мазлумова Россельхозакадемии; e-mail: o1a1m1n2 (7 r a m Ы с r. ru).

Тамбовцева Лариса Витальевна — к. с.-х. н., науч. сотр. лаб. агрохимии ГНУ Всероссийский НИИ сахарной свеклы имени АЛ. Мазлумова Россельхозакадемии.

Громовик Аркадий Игоревич — к. б. н., асс. каф. почвоведения и управления земельными ресурсами ГОУ ВПО «Воронежский государственный университет»; e-mail: agrom. psf/rambicr.ai.

Information about the autor

Minakova O.A. — doctor of agricultural sciences, head of agricultural chemistry laboratory. State Research Organization “The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet” of RAA (396030 Voronezh region Ramonsky district, vil. VNIISS, 86; e-mail: o1a1min@arambler.ru).

Tambovtseva L.V. — candidate of agricultural sciences, research officer. State Research Organization “The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet” of RAA.

Alexandrova L.V. — research officer. State Research Organization “The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet” of RAA.

Gromovik A.I. — candidate of biological sciences, assistant, GOU VPO “Voronezh State University” (394006 Voronezh Universitetskaya ploschad, 1).