ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

Обзорная статья

УДК 631.8:631.67

doi: 10.31774/2222-1816-2021-11-1-192-210

Особенности минерального питания сельскохозяйственных культур

Александр Николаевич Бабичев¹, Алексей Александрович Бабенко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации,
Новочеркасск, Российская Федерация

¹BabichevAN2006@yandex.ru

²Rosniipmshm@yandex.ru

Аннотация. Цель: проанализировать опыт внесения минеральных и органических удобрений на богаре и орошаемых землях под основные сельскохозяйственные культуры. В статье представлен обзор научно-исследовательских результатов, литературных источников по применению в сельском хозяйстве системы удобрений, при которой необходимые для сельскохозяйственных культур элементы питания вносятся в почву в наиболее критические периоды роста и развития. В данной работе рассматриваются вопросы применения удобрений с учетом коэффициентов использования доступных форм азота, фосфора, калия и других необходимых растениям элементов из удобрений и корнеобитаемого слоя почвы, уточнена необходимость возмещения выноса питательных веществ вегетативной и генеративной частями урожая, темпы потребления агроценозами элементов минерального питания. Сроки и способы применения органических и минеральных удобрений зависят от гранулометрического состава почвы, предшественника, уровня залегания грунтовых вод, агрохимических свойств почв, эффективности работы дренажной сети, погодно-климатических условий, фазы роста и развития возделываемой культуры. **Выводы.** Изучение работ отечественных и зарубежных ученых о сроках, нормах, видах и способах внесения минеральных и органических удобрений под различные сельскохозяйственные культуры, возделываемые на богаре и орошаемых землях, и проведенный анализ исследований позволяют сделать вывод, что в условиях цифровизации сельскохозяйственного производства нет единого мнения о системах применения минеральных и органических удобрений в условиях точного (прецизионного) земледелия. Проведение исследований в этой области перспективно в настоящее время и ближайшем будущем, особенно при использовании современных средств диагностики недостатков элементов питания растений.

Ключевые слова: система удобрений, элементы питания, вынос, минеральные и органические удобрения, урожайность.

GENERAL AGRICULTURE, CROP SCIENCE

Review article

Features of mineral nutrition of agricultural crops

Aleksandr N. Babichev¹, Aleksey A. Babenko²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹BabichevAN2006@yandex.ru

²Rosniipmshm@yandex.ru

Abstract. Purpose: to analyze the experience of applying mineral and organic fertilizers on dry and irrigated lands for the main agricultural crops. The overview of scientific research results, literature sources on applying a fertilizer system in agriculture, in which nutrients necessary for agricultural crops are introduced into the soil during the most critical periods of growth and development are presented. This paper considers the use of fertilizers, taking into account the utilization rates of available forms of nitrogen, phosphorus, potassium and other elements necessary for plants from fertilizers and the root layer of the soil, clarifies the need to compensate for the removal of nutrients by the vegetative and generative parts of the crop, the rate of consumption of mineral nutrition elements by agrocenoses. The timing and methods of using organic and mineral fertilizers depend on the granulometric composition of the soil, the predecessor, the level of groundwater occurrence, the agrochemical properties of soils, the efficiency of the drainage network, weather and climatic conditions, the growth and development phase of the cultivated crop. **Conclusion.** The study of the works of domestic and foreign scientists on the timing, norms, types and methods of applying mineral and organic fertilizers for various agricultural crops cultivated on dry and irrigated lands, and the analysis of the studies allow us to conclude that in the conditions of digitalization of agricultural production, there is no consensus about the systems the use of mineral and organic fertilizers in the conditions of precision (precision) farming. Research in this area is promising at the present time and in the near future, especially when using modern means of diagnosing deficiencies in plant nutrients.

Keywords: fertilizer system, nutrition elements, removal, mineral and organic fertilizers, yield

Введение. Систему удобрений можно охарактеризовать как научно обоснованный комплекс агрохимических и организационных мероприятий, направленных на регулирование хозяйственно-биологического круговорота веществ путем эффективного применения органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов с целью повышения продуктивности возделываемых земель.

Систему удобрений в севооборотах разрабатывают с учетом специализации хозяйств, севооборотных схем, величины и качества программируемых урожаев выращиваемых сельскохозяйственных культур.

В предлагаемой системе удобрений нужно предусматривать поддержание оптимального уровня различных форм элементов питания (макро- и микроэлементов), положительный баланс гумуса с учетом темпов его минерализации. Необходимо обязательное возмещение выноса питательных веществ вегетативной и генеративной частями урожая путем внесения оптимальных норм органических удобрений.

Количество применяемых удобрений следует рекомендовать с уче-

том коэффициентов использования сельскохозяйственными культурами доступных форм азота, фосфора, калия и кальция из удобрений и корнеобитаемого слоя почвы, темпов потребления агроценозами элементов минерального питания в различные фазы развития растений.

В статье описываются эффективные приемы внесения органических и минеральных удобрений для различных сельскохозяйственных культур, меры по регулированию и соблюдению параметров жизнеобеспечения растений по фазам их развития с учетом различных условий формирования величины и качества урожая.

Оптимальная система удобрения включает все классификационные виды этого агротехнического приема, выделяемые по формам, срокам и способам внесения питательных веществ. Необходимо планировать подкормки растений в различные фазы вегетации культиваторами-растениепитателями, прикорневые подкормки – сеялками, удобрительные поливы – с использованием гидроподкормщиков, серийно выпускаемых для агрегатирования с дождевальными машинами.

Подкормка проводится в соответствии с динамикой потребления элементов питания растениями с использованием средств почвенной и растительной диагностики. Своевременная диагностика, особенно в моменты наступления критических периодов роста и развития растений, позволяет формировать урожаи сельскохозяйственных культур высокого качества.

В системе удобрений необходимо предусматривать меры по предотвращению загрязнения окружающей среды. К ним следует отнести контроль соблюдения агрохимических требований при внесении удобрений. Эту работу проводят с использованием агрохимических картограмм, обновляемых через каждые 3 года. Особое внимание уделяется срокам и способам применения удобрений в зависимости от гранулометрического состава почвы, предшественника, уровня залегания грунтовых вод, агрохимических свойств почв, эффективности работы дренажной сети.

Н. В. Крашенинник в своих рекомендациях «Картофель без убытков» (2020 г.) [1] советует для получения здоровых растений и, как следствие, урожая особое внимание обращать на сбалансированность минерального питания растений картофеля. Образование клубней картофеля происходит после прекращения роста ботвы, и поэтому чем быстрее сформируется ботва, тем больше времени будет у растений картофеля для образования и налива клубней. Сокращение же периода клубнеобразования приводит к резкому падению урожайности. Как известно, азот является легкоподвижным элементом и при внесении его под основную обработку происходит его вымывание в подпаханный слой, т. е. он становится недоступным для вегетирующих растений. Эффективность внесения азота при посадке картофеля в результате проведенных автором исследований не установлена. Поэтому наиболее рациональным является внесение его перед гребнеобразованием. В этот период вносят от 1/2 до 3/4 расчетной нормы азотных удобрений, а оставшуюся часть азота вносят через внекорневые подкормки. Хорошие результаты получаются при проведении подкормок одновременно с поливом и при проведении подкормок с учетом листовых диагностик. Фосфор как элемент питания благоприятно влияет на рост и формирование корневой системы и клубней. Калий определяет засухоустойчивость культуры и устойчивость клубней к заболеваниям при хранении. Оба этих элемента являются труднорастворимыми, и поэтому целесообразней их вносить с осени. По утверждению Н. В. Крашенинника, высокие прибавки урожая картофеля дает при внесении таких мезоэлементов, как кальций и магний. Недостаток этих мезоэлементов приводит к резкому снижению урожайности. В результате проведенных исследований Н. В. Крашенинником установлено, что для формирования 1 т основной и соответствующего количества побочной продукции картофеля необходимо: азота – 5,4 кг, фосфора – 2,0 кг, калия – 10,5 кг, кальция – 3,5 кг, магния – 1,5 кг [1].

Исследования, которые провели Ю. И. Сухарев, К. Кой, Е. А. Пивень [2] в условиях Нечерноземной зоны, посвященные изучению корневых подкормок картофеля калийными удобрениями при традиционной (промышленной) и голландской технологиях, позволили установить, что данный агроприем положительно влияет на продуктивность во всех вариантах опыта. Опыты проводились в 2015–2017 гг. на светло-серой лесной тяжелосуглинистой почве. По своему физико-химическому составу почвы были благоприятны для возделывания картофеля. Содержание органического вещества составляло 3,2 %, обеспеченность фосфором и калием средняя, кислотность 5,8, плотность сложения 1,29 г/см³. Подкормки проводили по общему фону удобрений во время посадки дозами от 50 до 131 кг/га. В качестве калийных удобрений использовали сернокислый калий. Далее использовали технологию возделывания, рекомендованную зональными системами земледелия данного региона. Фенологические наблюдения показали, что во всех вариантах опыта, в которых проводилась подкормка, показатели были выше, чем в контрольном варианте. Сравнивая технологии, авторы подчеркивают, что использование голландской технологии возделывания позволяет получить урожайность картофеля на 15–25 % выше, чем по традиционной технологии. Среди сортов выделяют сорт Аризона, возделываемый по голландской технологии (была получена урожайность на 30–55 % выше, чем на других сортах картофеля). Также при проведении подкормок и соблюдении голландской технологии были получены наибольшие показатели товарности картофеля, средняя масса картофеля, полученная с куста, составила 1286 г при числе клубней 21,3 [2].

Исследования, проведенные А. И. Ивановым и др. [3] в Нечерноземной зоне на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве в овощном севообороте в 2010–2013 гг., позволили установить эффективность органоминерального удобрения на посадках картофеля при разной окультуренности почв. В качестве органоминерального удобрения использовали один

из видов пометных удобрений, его производит по своей оригинальной технологии фирма «Билавис». Данное удобрение имеет щелочность 9,00–9,24, влажность около 3 %, содержание азота 2,46–3,03, фосфора – 4,51–8,59, калия – 3,36–3,48, кальция – 6,69–7,18 и магния 2,15–2,48 %. Дозы органоминерального удобрения варьировали от 2–4 т/га на хорошо окультуренных почвах до 4–10 т/га на среднеокультуренных почвах. В качестве контроля были взяты варианты опыта, в которых удобрения не вносились и вносились только минеральные удобрения. В результате исследования А. И. Ивановым и др. [3] было установлено, что применение органоминерального удобрения дозой от 4 до 7 т/га в зависимости от окультуренности почв повышало урожайность картофеля на 60 и 51 % в сравнении с вариантом без удобрений и на 11 % относительно варианта с минеральными удобрениями. Использование данного вида удобрений позволило также повысить качество производимой продукции, что непосредственно сказалось на лежкости картофеля. Кроме этого, применение органоминерального удобрения решает задачу утилизации птичьего помета [3].

В исследованиях Е. В. Воронкина и М. А. Белякова (2014–2015 гг.) показано влияние минеральных удобрений на биометрические качества, урожайность и биохимический состав столовой свеклы. Научно обоснованное использование удобрений в сочетании с микроэлементами позволяет не только увеличить урожайность, но и получить экологически безопасную продукцию высокого качества. Опыт осуществлялся на выщелоченном черноземе с нейтральной рН, низким содержанием нитратного азота и высоким или повышенным содержанием фосфора и калия. Весь спектр макроэлементов столовая свекла наиболее интенсивно потребляет в начальный период своего развития. Основным элементом питания является азот. Положительное действие фосфора и калия зависит от обеспеченности столовой свеклы азотом в отдельные периоды ее вегетации. Из удобрений использовались: аммиачная селитра (содержание действующего вещества

34,6 %), суперфосфат двойной (45 %), хлористый калий (60 %). В результате опытов было доказано, что урожайность столовой свеклы напрямую зависит от увеличения доз калийных удобрений. С увеличением дозы хлористого калия возрастало число листьев на корнеплоде, увеличивалась масса корнеплода, его диаметр. Однако увеличивается и содержание нитратов, но в пределах ПДК. В незначительной степени увеличивается содержание сухого вещества, наблюдается снижение содержания общего сахара (но в перерасчете на гектар его содержание растет) [4].

В опытах В. А. Борисова и др. (2015 и 2017 гг.) [5], проведенных на пойменной среднесуглинистой почве Нечерноземной зоны с нейтральной щелочностью, по изучению методов диагностики минерального питания корнеплодов моркови, позволяющих дифференцировать дозы минеральных удобрений без существенного снижения урожайности и качества товарной продукции, применение методов «по почве» и «по черешку» позволило снизить дозы минеральных удобрений на 36–42 %. Также произошло изменение качественных характеристик товарной продукции растений моркови. В вариантах опыта, в которых проводили почвенную диагностику и диагностику «по черешку», произошло снижение содержания сухого вещества на 0,5–0,6 % по сравнению с половинной дозой удобрений, при этом содержание нитратов в товарной продукции снизилось в варианте с использованием метода почвенной диагностики на 18 мг/кг и повысилось в варианте с использованием метода диагностики «по черешку» на 32 мг/кг. При этом использование обоих методов дает схожие результаты по продуктивности корнеплодов моркови столовой и прибавку урожайности на уровне 24 % по отношению к полной норме минеральных удобрений [5].

Модные мировые тенденции продуктовых рынков в здоровом питании заставляют производителей обращать внимание на новые, отличающиеся от традиционных салатов листовые овощи. Одним из представителей этой группы является пекинская капуста.

С. Г. Монахос и Г. Ф. Монахос в своих трудах (2019 г.) по возделыванию пекинской капусты гибридов F₁ Ника и F₁ Нежность рекомендуют для получения высоких урожаев высокотоварного качества внесение перед посадкой (при выращивании рассадой) комплексного минерального удобрения азофоски в количестве 1,2–1,5 ц/га. При наличии возможности за две недели до посадки под вспашку вносят перепревший навоз. После высадки рассады проводят некорневые подкормки раствором кальциевой селитры 0,2–0,5 % для профилактики верхушечного ожога. Необходимость фосфора для пекинской капусты ярко выражена в первой половине роста и развития растения, а потребление калия, кальция возрастает во второй половине. Азот необходим на протяжении всего периода вегетации. Чтобы избежать верхушечного ожога, мягких гнилей растений, необходимо использовать нитратные азотные удобрения, не допуская чрезмерного удобрения азотом. При недостатке кальция следует проводить подкормки раствором кальциевой селитры 0,3 % трижды в неделю. Недостаток кальция приводит к некрозу внутренних листьев и увяданию внешних, что влечет за собой загнивание сердцевины. Недостаток бора приводит к деформации и остановке роста растения. В результате исследований авторы выявили, что для получения 1 т биомассы пекинской капусты необходимо: N – 2,5 кг, P – 0,13 кг, K – 1,5 кг, Ca – 1,0 кг [6].

В исследованиях В. А. Демина и В. А. Родионова (2007–2013 гг.) определялась целесообразность применения аммиачной селитры и ее влияние на урожайность гибридов пекинской капусты и качество урожая. Опыты проводились на дерново-подзолистой почве со средним содержанием гумуса, pH = 6,5...6,8. В почве среднее содержание азота, высокое содержание фосфора и очень высокое содержание калия. Использовались гибриды F₁ Ника, F₁ Нежность и F₁ Кудесница. Урожайность кочанов пекинской капусты в варианте без применения удобрений в зависимости от сорта и погодных условий изменялась в среднем от 17 до 24 т/га. Применение

80 кг/га азота под основное внесение увеличивало урожайность по сравнению с контролем на 33–47 %. Так, урожайность гибрида F₁ Ника в среднем составила 29 т/га, гибрида F₁ Кудесница – 23 т/га, гибрида F₁ Нежность – 32 т/га. Доза азота 120 кг/га под основное внесение увеличивала урожайность пекинской капусты по сравнению с внесением дозы азота 80 кг/га на 6–64 % только в отдельные годы. Разбивка внесения азота на части с применением подкормки не сказывалась в значительной степени на изменении урожайности. С увеличением доз азота наблюдалась закономерность по снижению содержания сухого вещества. Оно изменялось от 4,1 до 7,9 % в зависимости от периода вегетации растения. Содержание аскорбиновой кислоты в большей степени зависело от погодных условий, чем от минерального питания растений. Сахаристость за годы исследований варьировала незначительно. Содержание нитратов с применением азота увеличивалось в среднем на 30–53 % [7].

Поэтому при установлении системы удобрений важно учитывать как уровень плодородия почв, так и сортовую агротехнику. Данные выводы подтверждаются как отечественными, так и зарубежными учеными [8–10].

И. И. Ирков и др. [11] провели в 2012–2014 гг. исследования, посвященные разработке различных приемов возделывания лука-репки на подзолистых и дерново-подзолистых почвах с низким содержанием гумуса, рН = 6,2...6,8. Содержание подвижного фосфора в пахотном слое среднее, подвижного калия повышенное. Для опытов использовался фон минерального питания N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀, вносимого под зяблевую вспашку, гибрид F₁ Беннито и ряд образцов различных селекционных станций. В опытах использовались различные предшественники (горчица на сидерат, морковь, свекла столовая, лук-репка, капуста белокочанная) и различные виды корневых и внекорневых подкормок. Проведенные опыты показали, что для лука допустимы любые предшественники в овощном севообороте, но наиболее благоприятный предшественник – сидерат горчицы с мине-

ральными удобрениями, наименее подходящий – лук репчатый. Все испытываемые сорта и гибриды в однолетней культуре показали урожайность свыше 30 т/га. Наиболее высокая урожайность была получена по предшественнику горчице на сидерат и при внесении $N_{100}P_{100}K_{100}$ с использованием подкормок микроудобрениями и стимуляторами роста. Достаточно эффективно показало себя внесение 60 % минеральных удобрений под зяблевую вспашку с последующей подкормкой различными способами [11].

В. А. Борисов, А. Р. Бебрис в своих исследованиях оценивали влияние удобрений на урожайность и качество гибридов лука F_1 Беннито и F_1 Поиск 012 в однолетней культуре с использованием фертигации на аллювиальной луговой почве. В результате проведенных опытов было установлено, что наибольшая урожайность лука испытываемых гибридов была достигнута при использовании регулятора роста и на фоне основного внесения $N_{90}P_{90}K_{90}$ с проведением 10–15 поливов за период вегетации. Качество продукции отличалось незначительно [12].

Н. В. Крашенинник в своих рекомендациях в статье «Репчатый друг» (2019) [13] советует для получения высоких урожаев хорошего качества уделить внимание своевременному внесению минеральных удобрений, так как лук является культурой, требовательной к питанию. При недостатке какого-нибудь элемента питания растения останавливаются в росте, что приводит к снижению урожая. Такие элементы, как фосфор, калий, необходимо вносить под вспашку, а азот, магний и кальций использовать при подкормках. Доза азота для подкормок высокая, поэтому ее целесообразнее вносить в три этапа: фаза трех листьев, фаза пяти листьев и начало формирования луковицы. Используя внекорневые подкормки азотом, можно изменять рост наземной массы. При недостатке кальция луковицы поражаются шейковой гнилью. Н. В. Крашенинником установлено, что для получения 1 т продукции лука необходимо: азота – 3,0 кг, фосфора – 2,0 кг, калия – 4,0 кг, кальция – 1,0 кг, магния – 0,8 кг [13].

Сахарная свекла является высокопродуктивной (выход продукта при переработке 12–15 %) сахаросодержащей культурой (накопление сахара в корнеплодах 16–20 %). Увеличение урожайности сахарной свеклы и повышение выхода сахара при переработке – важнейшие задачи агропромышленного комплекса. Для формирования 1 т корнеплодов сахарной свеклы необходимо: N – 5,0 кг, P – 1,0 кг, K – 6,0 кг.

В исследованиях В. В. Дроздовой и др. (2012–2014 гг.) [14] произведена агрохимическая оценка применения макро- и микроудобрений при возделывании сахарной свеклы в Западном Предкавказье. Опыты проводились на выщелоченных черноземах с низким содержанием гумуса, низким содержанием азота в почве, средним содержанием подвижных фосфатов и очень высоким содержанием подвижного калия. В опыте изучали влияние сочетаний различных видов и доз азотных, фосфорных и калийных удобрений. Минеральные удобрения вносились под вспашку, а микроудобрения путем некорневой подкормки растений в фазе двух-четырех пар настоящих листьев. Использовались следующие виды удобрений: сульфат аммония, двойной суперфосфат, аммофос, хлористый калий, борная кислота, молибдат аммония и различные сульфаты меди, цинка, кобальта и марганца. В результате опытов выяснено, что применение минеральных удобрений повышает урожайность сахарной свеклы и улучшает качество. В варианте полного удобрения в дозе $N_{80}P_{80}K_{80}$ была отмечена наибольшая прибавка в среднем за 3 года 171,4 ц/га. Сбор сахара в этом варианте в среднем за годы исследований составил 116,0 ц/га. Применение более высоких доз удобрений не дает значительного роста урожайности и улучшения качества корнеплодов. Включение бора в систему минерального питания обеспечивает прибавку урожая 28,6 ц/га и увеличение сахаристости корнеплодов на 0,4 % [14].

В Кубанском государственном аграрном университете в 2015–2016 гг. Т. Ю. Вознесенской и Т. М. Веревкиной [15] были проведены исследова-

ния, посвященные изучению влияния инновационных форм удобрений на фенологию озимой пшеницы. В качестве удобрений использовались комплекс микроэлементов, комплекс хелатов микроэлементов, комплекс аминокислот с микроэлементами (органоминеральное удобрение). Почвы опытного участка типичные для данной зоны Краснодарского края. Использовалась технология возделывания, рекомендованная зональными системами земледелия. Предшественник – соя на зерно. Данными препаратами проводили обработку семян перед посевом и две подкормки по фазам вегетации (в фазе кущения – начала выхода в трубку и фазе цветения – начала колошения). В результате проведенных исследований Т. Ю. Вознесенской и Т. М. Веревкиной удалось установить, что во всех вариантах опыта, в которых проводились обработки исследуемыми препаратами, происходило повышение показателей роста и развития растений. Наибольшие показатели были получены при использовании в подкормку двойных доз комплекса микроэлементов и комплекса хелатов на полном фоне удобрений [15].

В растениеводстве наблюдается несоответствие между реальной и потенциальной урожайностью озимой пшеницы. Применение удобрений является ключевым фактором в увеличении урожайности озимой пшеницы. Целью исследований В. И. Мазалова и др. [16] являлось изучение влияния различных доз азотных удобрений на урожайность и качество озимой пшеницы. Опыты проводились в 2016–2018 гг. на черноземах Орловской области с высоким содержанием гумуса, почва среднекислая. Содержание подвижных фосфатов и подвижного калия в почве среднее, использовался сорт Московская 56, предшественник – пар. В качестве минеральных удобрений применялись аммиачная селитра и мочевины в жидком виде. Фоном во всех опытах была доза $N_{30}P_{78}K_{78}$. В результате выяснено, что любое внесение минеральных азотных удобрений увеличивает урожайность озимой пшеницы и улучшает качество зерна. Наиболее высокий

урожай зерна озимой пшеницы в среднем за 3 года 42,7 ц/га наблюдался при основном внесении $N_{30}P_{78}K_{78}$ и проведении подкормок аммиачной селитрой в фазе кущения N_{65} и фазе начала выхода в трубку N_{35} , а также внесении раствора мочевины в фазе колошения N_{30} . Содержание клейковины и протеина в зерне здесь также наиболее высоко из всех вариантов опыта [16].

Яровые зерновые культуры занимают более половины всех площадей возделываемых зерновых культур. Яровая пшеница в России выращивается на площади 14–15 млн га. Она обладает высокой пищевой ценностью и широко используется в перерабатывающей пищевой промышленности. Урожайность и качество яровой пшеницы значительно изменяется при внесении минеральных удобрений. Однако эффективность применения различных видов минеральных удобрений зависит от агрохимической характеристики почвы, климатических условий, предшественников и других факторов.

В целях разработки оптимальных режимов применения минеральных удобрений под яровую пшеницу Р. А. Афанасьев и В. А. Иванчик провели в 2015–2017 гг. полевой опыт по изучению их влияния на урожайность и качество зерна [17]. В опыте использовался зерно-травяно-пропашной севооборот, предшественник – картофель, сорт пшеницы – Эстер. Почва дерново-подзолистая с низким содержанием гумуса, высоким содержанием фосфора и средним содержанием калия, $pH = 4,7$. Метеорологические условия в целом за период исследования были благоприятными для яровой пшеницы. Использовались удобрения: аммиачная селитра, двойной суперфосфат и хлористый калий. Все применяемые в опыте дозы минеральных удобрений положительно сказывались на увеличении урожайности яровой пшеницы. Наибольшая урожайность в среднем за 3 года исследований была получена при применении минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{120}K_{60}$ и составляла 39,3 ц/га. Немного меньше (39,1 ц/га) урожайность при внесении дозы удобрений $N_{120}P_{60}K_{60}$. Применение различных доз минеральных удоб-

рений положительно влияло на хлебопекарные качества зерна пшеницы. Накопление белка возрастало с увеличением доз азотных удобрений [17].

Анализ отечественных и зарубежных источников, а также ряд исследований, проведенных в ФГБНУ «РосНИИПМ» [18–27], позволил установить особенности минерального питания большинства сельскохозяйственных культур, возделываемых на орошаемых землях юга России. Одной из основных особенностей питания растений является информация о выносе элементов питания с 1 т основной и побочной продукции, которая была уточнена и представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Вынос питательных элементов на 1 т основной и побочной продукции на юге России

В кг/га			
Культура	N	P	K
Картофель	2,0–3,2	0,8–1,2	5,0–7,2
Лук репчатый	2,0–3,0	0,25–0,9	2,5–4,9
Морковь столовая	2,0–3,5	0,3–0,8	2,7–4,0
Пекинская капуста	2,0–4,5	0,15–0,7	1,2–4,0
Свекла столовая	2,7–5,0	0,25–1,4	2,8–7,7
Озимая пшеница	37,0	13,0	23,0
Яровая пшеница	38,0–42,0	11,0–12,0	32,0–34,0
Свекла сахарная	4,0	2,0	8,0

Выводы. Проведенный анализ исследований, посвященных срокам, количеству, видам и способам внесения минеральных и органических удобрений под различные сельскохозяйственные культуры, возделываемые на орошаемых землях, позволяет сделать вывод, что в условиях цифровизации сельскохозяйственного производства нет единого мнения о системах применения минеральных и органических удобрений в условиях точного (прецизионного) земледелия. Проведение исследований в этой области перспективно в настоящее время и ближайшем будущем, особенно при использовании современных средств диагностики недостатков элементов питания растений.

Список использованных источников

1 Крашенинник, Н. В. Картофель без убытков / Н. В. Крашенинник // Вестник овощевода. – 2020. – № 2. – С. 14–17.

2 Сухарев, Ю. И. Влияние калийных удобрений и технологии возделывания на урожайность картофеля в Московской области / Ю. И. Сухарев, К. Кой, Е. А. Пивень // Плодородие. – 2018. – № 6. – С. 16–19.

3 Новое органоминеральное удобрение на посадках картофеля / А. И. Иванов, Ж. А. Иванова, И. А. Фрейдкин, О. И. Якушева // Картофель и овощи. – 2018. – № 9. – С. 30–32.

4 Воронкин, Е. В. Удобрения столовой свеклы / Е. В. Воронкин, М. А. Беляков // Картофель и овощи. – 2016. – № 8. – С. 17–18.

5 Диагностика минерального питания моркови на пойменных почвах Нечерноземной зоны / В. А. Борисов, И. Ю. Васючков, А. А. Коломиец, О. Н. Успенская, А. В. Корнев // Картофель и овощи. – 2018. – № 9. – С. 17–18.

6 Монахос, С. Г. Капуста по-пекински / С. Г. Монахос, Г. Ф. Монахос // Вестник овощевода. – 2019. – № 10. – С. 32–34.

7 Демин, В. А. Удобрения пекинской капусты / В. А. Демин, В. А. Родионов // Картофель и овощи. – 2016. – № 4. – С. 19–20.

8 Закономерности влияния продуктивности овощей на вынос элементов питания при капельном поливе в сухостепном Поволжье / Н. А. Пронько, В. В. Корсак, К. С. Голик, А. В. Рябова, Ю. А. Новикова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2019. – № 3(35). – С. 159–172. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=614&id=626>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2019-3-159-172.

9 Growth, yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) as affected by potassium fertilization / A. M. El-Bassiony, Z. F. Fawzy, E. H. Abd El-Samad, G. S. Riad // Journal of American Science. – 2010. – № 6(12). – P. 722–729.

10 Балансы элементов питания растений на пахотных землях России / В. В. Корсак, А. Н. Никишанов, А. В. Рябова, К. В. Гузенко // Вавиловские чтения – 2016: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 129-й годовщине со дня рождения акад. Н. И. Вавилова. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2016. – С. 165–169.

11 Ирков, И. И. Технология производства лука в однолетней культуре в Нечерноземной зоне РФ / И. И. Ирков, Ю. А. Быковский, В. И. Леунов // Картофель и овощи. – 2016. – № 6. – С. 18–22.

12 Борисов, В. А. Как повысить урожай и стандартность лука / В. А. Борисов, А. Р. Бебрис // Картофель и овощи. – 2017. – № 8. – С. 16–17.

13 Крашенинник, Н. В. Репчатый друг / Н. В. Крашенинник // Вестник овощевода. – 2019. – № 11. – С. 9–13.

14 Дроздова, В. В. Агрохимическая оценка макро- и микроудобрений при возделывании сахарной свеклы в Западном Предкавказье / В. В. Дроздова, И. А. Булдыкова, А. Х. Шеуджен // Плодородие. – 2019. – № 1. – С. 8–11.

15 Вознесенская, Т. Ю. Влияние инновационных форм удобрений на нарастание листового аппарата и его фотосинтетическую деятельность / Т. Ю. Вознесенская, Т. М. Веревкина // Плодородие. – 2018. – № 6. – С. 9–11.

16 Влияние различных доз азотных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы / В. И. Мазалов, О. М. Мосина, Н. Г. Хмызова, М. М. Донской // Земледелие. – 2019. – № 4. – С. 19–20.

17 Афанасьев, Р. А. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях Нечерноземья при внесении минеральных удобрений / Р. А. Афанасьев, В. А. Иванчик // Плодородие. – 2019. – № 6. – С. 11–14.

18 Коваленко, А. А. Влияние минеральных удобрений на урожайность и окупаемость прибавкой урожая зерновых культур / А. А. Коваленко, Т. М. Забугина // Плодородие. – 2019. – № 5. – С. 6–9.

19 Овощеводство: учеб. для вузов / Г. И. Тараканов [и др.]; под ред. Г. И. Тараканова, В. Д. Мухина. – М.: Колос, 2003. – 472 с.

20 Ольгаренко, В. Иг. Принципы применения элементов технологии точного земледелия и прецизионного орошения в сельскохозяйственном производстве / В. Иг. Ольгаренко, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский // Новости науки в АПК. – 2018. – № 2-2(11). – С. 23–26.

21 Бабичев, А. Н. Накопление питательных веществ в почве при возделывании картофеля летней посадки после сидеральных культур / А. Н. Бабичев, Г. Т. Балакай, В. А. Монастырский // Плодородие. – 2015. – № 5. – С. 37–39.

22 Щедрин, В. Н. Опыт использования сидеральных культур для улучшения агрохимических свойств чернозема обыкновенного / В. Н. Щедрин, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 1(41). – С. 14–21.

23 Монастырский, В. А. Влияние сидеральных культур на урожайность картофеля летней посадки на орошаемых черноземах Ростовской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Монастырский Валерий Алексеевич. – Новочеркасск, 2013. – 23 с.

24 Бабичев, А. Н. Агромелиоративная система повышения эффективности использования орошаемых земель на юге России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02 / Бабичев Александр Николаевич. – Новочеркасск, 2016. – 42 с.

25 Расчет доз внесения минеральных удобрений: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018663750 / Васильев С. М. [и др.]; правообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2018619426; заявл. 04.09.18; опубл. 29.12.18, Бюл. № 1.

26 Монастырский, В. А. Алгоритм расчета доз внесения удобрений в прецизионном земледелии / В. А. Монастырский, А. Н. Бабичев, В. Иг. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2019. – № 1(33). – С. 26–38. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=587>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38.

27 Расчет норм жидких органических удобрений для различных сельскохозяйственных культур: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018661847 / Васильев С. М. [и др.]; правообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2018619455; заявл. 05.09.18; опубл. 29.12.18, Бюл. № 1.

References

1 Krashenninnik N.V., 2020. *Kartofel' bez ubytkov* [Potatoes without losses]. *Vestnik ovoshchevoda* [Bulletin of the Vegetable Grower], no. 2, pp. 14-17. (In Russian).

2 Sukharev Yu.I., Koy K., Piven E.A., 2018. *Vliyanie kaliynykh udobreniy i tekhnologii vozdeleyvaniya na urozhaynost' kartofelya v Moskovskoy oblasti* [Influence of potash fertilizers and cultivation technology on potato yield in Moscow region]. *Plodorodie* [Fertility], no. 6, pp. 16-19. (In Russian).

3 Ivanov A.I., Ivanova Zh.A., Freidkin I.A., Yakusheva O.I., 2018. *Novoe organomineral'noe udobrenie na posadkakh kartofelya* [New organic fertilizer for potato planting]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potatoes and Vegetables], no. 9, pp. 30-32. (In Russian).

4 Voronkin E.V., Belyakov M.A., 2016. *Udobreniya stolovoy svekly* [Fertilizers of table beet]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potatoes and Vegetables], no. 8, pp. 17-18. (In Russian).

5 Borisov V.A., Vasyuchkov I.Yu., Kolomiets A.A., Uspenskaya O.N., Kornev A.V., 2018. *Diagnostika mineral'nogo pitaniya morkovi na poymennykh pochvakh Nechernozemnoy zony* [Diagnostics of the mineral nutrition of carrots on floodplain soils of the Nonchernozem zone]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potatoes and Vegetables], no. 9, pp. 17-18. (In Russian).

6 Monachos S.G., Monakhos G.F., 2019. *Kapusta po-pekinski* [Peking cabbage]. *Vestnik ovoshchevoda* [Bulletin of Vegetable Grower], no. 10, pp. 32-34. (In Russian).

7 Demin V.A., Rodionov V.A., 2016. *Udobreniya pekinskoy kapusty* [Fertilizers of Peking cabbage]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potatoes and Vegetables], no. 4, pp. 19-20. (In Russian).

8 Pronko N.A., Korsak V.V., Golik K.S., Ryabova A.V., Novikova Yu.A., 2019. [Patterns of vegetable productivity influence on the removal of nutrients during drip irrigation in the dry-steppe Volga region]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(35), pp. 159-172, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=614&id=626>, DOI: 10.31774/2222-1816-2019-3-159-172. (In Russian).

9 El-Bassiony A.M., Fawzy Z.F., Abd El-Samad E.H., Riad G.S., 2010. Growth, yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annum* L.) as affected by potassium fertilization. *Journal of American Science*, no 6(12), pp. 722-729.

10 Korsak V.V., Nikishanov A.N., Ryabova A.V., Guzenko K.V., 2016. *Balansy elementov pitaniya rasteniy na pakhotnykh zemlyakh Rossii* [Balances of plant nutrients elements on arable lands of Russia]. *Vavilovskie chteniya – 2016: sb. st. mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 129-i godovshchine so dnya rozhdeniya akad. N. I. Vavilova* [Vavilov Readings – 2016. Proc. of International Scientific Practical Conference dedicated to the 129th Anniversary of the Academician N.I. Vavilov birth]. Saratov, Saratov GAU, pp. 165-169. (In Russian).

11 Irkov I.I., Bykovsky Yu.A., Leunov V.I., 2016. *Tekhnologiya proizvodstva luka v odnoletney kul'ture v Nechernozemnoy zone RF* [Technology of onion production in annual culture in the Non-Black Earth Zone of the Russian Federation]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potatoes and Vegetables], no. 6, pp. 18-22. (In Russian).

12 Borisov V.A., Bebris A.R., 2017. *Kak povysit' urozhay i standartnost' luka* [How to increase the yield and onion standardization]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potatoes and Vegetables], no. 8, pp. 16-17. (In Russian).

13 Krashenninnik N.V., 2019. *Repchatyy drug* [Repchaty friend]. *Vestnik ovoshchevoda* [Bulletin of the Vegetable Grower], no. 11, pp. 9-13. (In Russian).

14 Drozdova V.V., Buldykova I.A., Sheudzhen A.Kh., 2019. *Agrokhimicheskaya otsenka makro- i mikroudobreniy pri vozdeleyanii sakharной svekly v Zapadnom Predkavkaz'e* [Agrochemical assessment of application of macro- and micronutrient fertilizers in cultivation of sugar beets in the Western Ciscaucasia]. *Plodorodie* [Fertility], no. 1, pp. 8-11. (In Russian).

15 Voznesenskaya T.Yu., Verevkina T.M., 2019. *Vliyanie innovatsionnykh form udobreniy na narastanie listovogo apparata i ego fotosinteticheskuyu deyatel'nost'* [Influence of innovative forms of fertilizers on the growth of leaf apparatus and its photosynthetic activity]. *Plodorodie* [Fertility], no. 6, pp. 9-11. (In Russian).

16 Mazalov V.I., Mosina O.M., Khmyzova N.G., Donskoy M.M., 2019. *Vliyanie razlichnykh doz azotnykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo zerna ozimoy pshenitsy* [The influence of various doses of nitrogen fertilizers on the yield and quality of winter wheat grain]. *Zemledelie* [Farming], no. 4, pp. 19-20. (In Russian).

17 Afanasyev R.A., Ivanchik V.A., 2019. *Urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy v usloviyakh Nechernozem'ya pri vnesenii mineral'nykh udobreniy* [Productivity and grain quality of spring wheat in the Non-Black Earth Region with the introduction of mineral fertilizers]. *Plodorodie* [Fertility], no. 6, pp. 11-14. (In Russian).

18 Kovalenko A.A., Zabugina T.M., 2019. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' i okupaemost' pribavkoy urozhaya zernovykh kul'tur* [Influence of mineral fertilizers on yield and payback by increasing the yield of grain crops]. *Plodorodie* [Fertility], no. 5, pp. 6-9. (In Russian).

19 Tarakanov G.I. [et al.], 2003. *Ovoshchevodstvo: ucheb. dlya vuzov* [Vegetable Growing: Textbook for Universities]. Moscow, Kolos Publ., 472 p. (In Russian).

20 Olgarenko V.Ig., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., 2018. *Printsipy primeneniya elementov tekhnologii tochnogo zemledeliya i pretsizionnogo orosheniya v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve* [Principles of applying the elements of technology of precision farming and precision irrigation in agricultural production]. *Novosti nauki v APK* [Science News in the Agro-Industrial Complex], no. 2-2(11), pp. 23-26. (In Russian).

21 Babichev A.N., Balakai G.T., Monastyrsky V.A., 2015. *Nakoplenie pitatel'nykh veshchestv v pochve pri vozdeystvovanii kartofelya letney posadki posle sideral'nykh kul'tur* [The accumulation of nutrients in soil during the cultivation of summer planting potatoes after green manure crops]. *Plodorodie* [Fertility], no. 5, pp. 37-39. (In Russian).

22 Shchedrin V.N., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., 2016. *Opyt ispol'zovaniya sideral'nykh kul'tur dlya uluchsheniya agrokhimicheskikh svoystv chernozema obyknovennogo* [Experience of using green manure crops to improve the agrochemical properties of ordinary chernozem]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 1(41), pp. 14-21. (In Russian).

23 Monastyrskiy V.A., 2013. *Vliyanie sideral'nykh kul'tur na urozhaynost' kartofelya letney posadki na oroshaemykh chernozemakh Rostovskoy oblasti. Avtoreferat diss. kand. s.-kh. nauk* [The influence of green manure crops on the yield of summer-planted potatoes on irrigated chernozems of Rostov region. Abstract of cand. agri. sci. diss.]. Novocherkassk, 23 p. (In Russian).

24 Babichev A.N., 2016. *Agromeliorativnaya sistema povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya oroshaemykh zemel' na yuge Rossii. Avtoreferat diss. doktora s.-kh. nauk* [Agromeliorative system for increasing the efficiency of irrigated land use in the South of Russia. Abstract of doctor agri. sci. diss.]. Novocherkassk, 42 p. (In Russian).

25 Vasiliev S.M. [et al.], 2018. *Raschet doz vneseniya mineral'nykh udobreniy* [Calculation of Doses of Mineral Fertilizers]. Certificate of state registration of the computer program, no. 2018663750. (In Russian).

26 Monastyrsky V.A., Babichev A.N., Olgarenko V.Ig., 2019. [Algorithm for calculating the doses of fertilizers in precision farming]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(33), pp. 26-38, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=587>, DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38. (In Russian).

27 Vasiliev S.M. [et al.], 2018. *Raschet norm zhidkikh organicheskikh udobreniy dlya razlichnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Calculation of Rates of Liquid Organic Fertilizers for Various Crops]. Certificate of State Registration of the Computer Program, no. 2018661847. (In Russian).

Бабичев Александр Николаевич

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: пр. Баклановский, д. 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: BabichevAN2006@yandex.ru

Babichev Aleksandr Nikolayevich

Degree: Doctor of Agricultural Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: BabichevAN2006@yandex.ru

Бабенко Алексей Александрович

Должность: младший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: пр. Баклановский, д. 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421
E-mail: Rosniipmshm@yandex.ru

Babenko Aleksey Aleksandrovich

Position: Junior Research

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: Rosniipmshm@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.12.2020; одобрена после рецензирования 27.01.2021; принята к публикации 05.02.2021.

The article was submitted 24.12.2020; approved after reviewing 27.01.2021; accepted for publication 05.02.2021.