УДК 631.41 (470.32)

**МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ АГРОХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПОЧВ
ДЛЯ УСЛОВИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ**

ЧУЯН О.Г.,

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Агрохимия и ГИС и АЭМ»,
ФГБНУ «ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии», e-mail: agrochemgis@mail.ru.

ДЕРИГЛАЗОВА Г.М.,

доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Агрохимия и ГИС
и АЭМ», ФГБНУ «ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии», e-mail: agrochemgis@mail.ru.

КАРАУЛОВА Л.Н.,

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории «Агрохимия и ГИС
и АЭМ», ФГБНУ «ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии», e-mail: agrochemgis@mail.ru.

МИТРОХИНА О.А.,

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории «Агрохимии и ГИС
и АЭМ», ФГБНУ «ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии», e-mail: agrochemgis@mail.ru.

Реферат. Выявлено, что необходимым условием разработки целевых программ управления, агрохимическими свойствами почв является учет иерархических детерминированных связей в системах: климат – почвы – технология – урожай – свойства, поскольку позволяет оценивать значимость и характер влияния антропогенных факторов в процессе сельскохозяйственного использования почв, дифференцировать очередность, последовательность и направленность управляющих воздействий. Управление агрохимическими свойствами почв предполагает определение необходимого, целесообразного уровня среднегодового (по севообороту) насыщения средств системы удобрений для достижения целесообразного уровня эффективного плодородия, обеспечивающего обоснованные уровни продуктивности и баланс элементов. В рамках средств системы удобрений управление агрохимическими свойствами почв осуществляется при использовании следующей последовательности учитываемых категорий: климат – почва – севооборот – потенциальная продуктивность – допустимый (эффективный) баланс – регулируемое плодородие – регулируемая продуктивность. Выявлены закономерности формирования балансов элементов питания при различном насыщении удобрениями в зависимости от агроклиматических и почвенных условий.

Установлено, что повышение интенсивности баланса элементов питания, с целью оптимизации свойств почв, имеет ограничения экономического и экологического характера и не может быть решено только минеральной системой удобрений. С точки зрения сохранения плодородия почв и повышения эффективности производства продукции единственным решением является максимальный возврат биогенных элементов в органической форме – внесение побочной продукции, повышение уровня биологизации севооборотов, применение дополнительных органических удобрений. Общая закономерность состоит в повышении доли органических компонентов в составе органо-минеральных систем удобрений в ряду почв от черноземов к серым лесным и от тяжелых к более легким по гранулометрическому составу. Разработана структурно-функциональная схема модели управления агрохимическими свойствами почв, а также алгоритмы и нормативы для ее реализации.

Ключевые слова: потенциальная продуктивность, агрохимические свойства, плодородие почв, коэффициенты использования, баланс элементов, модели управления.

**THE MODEL OF MANAGEMENT OF AGROCHEMICAL PROPERTIES
OF SOILS FOR CONDITIONS OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION**

CHUYAN O. G.,

doctor of biological Sciences, leading researcher of the laboratory of "agricultural Chemistry and GIS, and AEM", FEDERAL state budgetary institution "research Institute of agriculture and protection of soils from erosion", e-mail: agrochemgis@mail.ru.

DERIGLAZOVA G. M.,

doctor of agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory of "agricultural Chemistry and GIS, and AEM", FEDERAL state budgetary institution "research Institute of agriculture and protection of soils from erosion".

KARAULOVA L.N.,

the candidate of agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory of "agricultural Chemistry and GIS, and AEM", FEDERAL state budgetary institution "research Institute of agriculture and protection of soils from erosion»

MITROKHINA O.A.,

the candidate of agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory of "agricultural Chemistry and GIS, and AEM", FEDERAL state budgetary institution "research Institute of agriculture and protection of soils from erosion»

Essay. It is revealed that the necessary condition for the development of target management programs, agrochemical properties of soils is the account of hierarchical deterministic relationships in the systems of climate – soil - technology – crop - properties, as it allows to assess the importance and nature of the influence of anthropogenic factors in the process of agricultural use of soils, to differentiate the order, sequence and direction of control actions.

Management of agrochemical properties of soils involves determining the necessary, appropriate level of average annual (crop rotation) saturation of the fertilizer system to achieve an appropriate level of effective fertility, providing reasonable levels of productivity and the balance of elements.

Within the framework of the fertilizer system, agrochemical properties of soils are managed using the following sequence of categories: climate-soil – crop rotation – potential productivity - acceptable (effective) balance – regulated fertility-regulated productivity.

The regularities of the formation of the balance of nutrients at different saturation fertilizers depending on agro-climatic and soil conditions.

It is established that the increase in the intensity of the balance of nutrients in order to optimize the properties of soils has economic and environmental constraints and can not be solved only by the mineral system of fertilizers. From the point of view of preserving soil fertility and increasing the efficiency of production, the only solution is the maximum return of nutrients in organic form – the introduction of by-products, increasing the level of biologization of crop rotations, the use of additional organic fertilizers. The General pattern is to increase the proportion of organic components in the composition of organic-mineral fertilizer systems in a number of soils from black to gray forest and from heavy to lighter in granulometric composition.

The structural and functional scheme of the model of management of agrochemical properties of soils, as well as algorithms and standards for its implementation.

Key words: potential productivity, agrochemical properties, soil fertility, utilization factors, element balance, management models.

Введение. Вопросы эффективного использования пашни, удобрений и мелиорантов были и остаются приоритетными в сельском хозяйстве. При прочих равных условиях рост урожайности сельскохозяйственных культур должен осуществляться, в том числе, и на основе оптимизации основных свойств определяющих уровень плодородия почв [1].

Единственным критерием оценки плодородия почв является урожайность сельскохозяйственных культур. Она определяется агроклиматическими факторами, совокупностью агрономически важных параметров свойств почв, а также комплексом агротехнических мероприятий (технологией возделывания).

Поме интенсификации производства возрастает необходимость и возможность регулирования плодородия почв. Комплекс агрохимических свойств, с которыми связан урожай, отражают состояние плодородия почв и периодически контролируются агрохимической службой, составляют содержание гумуса, кислотность почв, содержание гидролизующего азота, подвижные формы фосфора, калия и микроэлементов. Роль отдельных параметров свойств, так и их совокупности в формировании продуктивности зависит при этом как от генетиче-

ских особенностей почв, так и от агроклиматических условий [1].

Характеристики важнейших режимов почв, гумусного состояния, физико-химических свойств, обеспеченности основными элементами питания и микроэлементами подвержены изменениям в длительном и средневременном цикле, как в контролируемых условиях полевых опытов, так и сельскохозяйственном производстве [2, 3, 4].

В зависимости от конкретных почвенно-климатических условий, рельефа и хозяйственных факторов изменяется как соотношение, так и интенсивность процессов, определяющих направленность и динамику изменений агрохимических свойств почв [5].

Одним из ключевых факторов интенсификации производства сельскохозяйственной продукции, а также фактором прямого и опосредованного влияния на плодородие почвы является система удобрений [6]. Средства, используемые в системе удобрения, контролируют, прежде всего, реакцию почвенной среды, содержание в почвах органического вещества, обеспеченность элементами питания, включая и микроэлементы, а также оказывают влияние на биологические и агрофизические свойства почв.

Основным инструментом анализа круговорота веществ в земледелии являются балансовые методы,

позволяющие давать эколого-агрономическую оценку эффективности средств системы удобрений и их влияние на агрохимические свойства почв [7, 8].

В современных экономических условиях процесс получения сельскохозяйственной продукции неотделим от управления плодородием почвы и, по сути, должен рассматриваться как единая, взаимосвязанная система. В этой связи необходим переход от экспертно-описательных (качественных) систем к количественно наполненным, предполагающим использование системных взаимосвязей и определенной нормативной базы.

Цель исследований – разработать модель управления агрохимическими свойствами почв для условий центрального Черноземья.

Материал и методика исследования. Исследования выполняются на базе лаборатории агрохимии Всероссийского НИИ земледелия и защиты почв от эрозии (г. Курск), и включают концептуальное и математическое моделирование реализаций систем удобрений в условиях ЦЧР. Научно-методической основой создания модели управления агрохимическими свойствами почв являются балансовые методы [9, 10, 11].

Основой разработки модели управления агрохимическими свойствами почв служили совокупность алгоритмов и баз данных, разработанных лабораторией агрохимии ВНИИЗиЗПЭ [12, 13, 14].

Объектом для научно-теоретических обобщений являются модели взаимосвязей между базовыми почвенными и агрохимическими параметрами свойств почв, а также между ними и агроклиматическими показателями и продуктивностью сельскохозяйственных культур при использовании средств систем удобрений. Учитываются параметры баланса элементов питания, обменных оснований, гумуса.

Результаты исследования. Общий концептуальный подход заключается в том, что стратегия применения агрохимических средств, предполагает последовательное устранение лимитирующих продуктивности факторов, обусловленных генетическими особенностями почв, ориентирована на создание оптимальных условий и поддержание целесообразных уровней основных агрохимических свойств в долговременном цикле. Это обосновано тем, что значительная часть урожая формируется за счет почвенных ресурсов плодородия, при этом, даже при снижении эффективности удобрений с повышением обеспеченности почвы элементами питания экономически оправданный урожай становится значительно выше. Вместе с тем любые управляющие воздействия как длительного, так и оперативного характера должны быть согласованы с их возможной эффективностью, связанной с фактическим климатическим фоном (среднепогодными агроклиматическими условиями) характерным для конкретной территории и местоположения.

Каждая территориальная единица сельскохозяйственных угодий обладает совокупностью параметров, характеризующих продукционный потенциал и фактически (управляемым) уровнем продуктивности

в соответствии с исторически, хозяйственно сложившимся режимом использования пашни. В длительном цикле происходят изменения уровней параметров свойств почв в зависимости от интенсивности, длительности, складывающихся режимов, балансов веществ, а также уровней исходных свойств почв и их «податливости», наличия определенных буферных систем.

Система: климат – почва – продуктивность является динамичной и нелинейной.

Влияние средств системы удобрений на изменение ведущих параметров свойств почв определяется создаваемым балансом основных элементов и веществ в следующем детерминированном ряду: насыщение по севообороту удобрений и мелиорантов → почвенно-климатические условия → агротехника и качество работ → продуктивность → складывающийся баланс → резервы и буферность почвенной системы → изменение параметров плодородия почв.

Фактически в рамках средств системы удобрений управление предполагает использование следующей последовательности учитываемых категорий: климат – почва – севооборот – потенциальная продуктивность – допустимый (эффективный) баланс – регулируемое плодородие – регулируемая продуктивность.

Предотвращение определенных нежелательных изменений, или поддержание параметров на определенном уровне, а также целенаправленное их смещение в длительном цикле целесообразно проводить на основе обобщенных характеристик цикла (севооборота) сельскохозяйственного использования учитывающих их влияние на плодородие почв – баланса элементов питания, гумуса, оснований, показателей интенсивности баланса, коэффициентов возврата, уровней насыщения. В севооборотах складываются определенные режимы водного, энергетического и баланса элементов питания [15]. При этом особенно важно потребление элементов питания в расчете на единицу продуктивности является относительное постоянство выносов (таблица 1).

За основу формирования модели управления агрохимическими свойствами может быть принята модель проектирования системы удобрения в адаптивно-ландшафтном земледелии, при которой первостепенное значение имеет определение и оценка возможных уровней продуктивности, ограниченных климатическими, почвенными и хозяйственными условиями [16].

Выявлено, что характер изменения продуктивности (севооборота) от возрастающих доз полного сбалансированного удобрения подчиняется тем же закономерностям, что и отдельно взятых культур – зависит от биологического выноса элементов питания и возможных уровней продуктивности:

$$PP = P_6 + (D / WSB) \cdot \exp(-D/2.3 \cdot WSB \cdot (ДВП - P_6)), (1)$$

где PP – продуктивность севооборота, ц з.е./га;

D – доза полного сбалансированного удобрения, (кг (N+P+K) д.в./га);

WSB – удельный биологический вынос, кг (N+P+K) /ц.з.е.);

ДВП – действительно возможная продуктивность для фактических условий;

Пб – базовая продуктивность без применения удобрений, ц з.е./га.

При этом коэффициенты эффективного использования отдельных элементов питания удобрений в расчете на полный вынос в севообороте могут быть оценены по следующему выражению:

$$k_{i(N,P,K)} = \exp(-D_{(N,P,K)} / 2.3 \cdot WB_{(N,P,K)} \cdot (ДВП - Пб)), \quad (2)$$

где $k_{i(N,P,K)}$ – коэффициенты использования азота, фосфора и калия – удобрений в биологическом выносе (в долях единицы);

$WB_{(N,P,K)}$ – биологический (полный) вынос отдельных элементов д.в. (N,P,K)/ ц з.е.

Коэффициенты использования элементов питания удобрений в севообороте, с учетом их последствия, а также вовлечения ассимилированных в пожнивно-корневых остатках и дополнительно мобилизованных почвенных, значительно превышают средние по культурам значения и могут составлять по азоту 60-75, фосфору 30-50 и калию 65 – 80 %.

Уровни складывающегося хозяйственного баланса элементов питания зависят от уровней доз

элементов питания, определяющих коэффициенты биологического использования, значений удельных (на единицу продуктивности) хозяйственных выносов и уровня базовой продуктивности:

$$B_{(N,P,K)} = D_{(N,P,K)} (1 - Kx \cdot k_{i(N,P,K)}) - Пб \cdot WX_{(N,P,K)} \quad (3)$$

где $B_{(N,P,K)}$ – баланс элементов питания, кг/га;

Kx – отношение хозяйственного выноса к полному;

WX – хозяйственный вынос элементов питания д.в. (N, P, K)/ ц з.е.

Это обеспечивает возможность взаимоувязать степень насыщения севооборота (с учетом его структуры) минеральными удобрениями с их эффективностью в плане получения продукции и влиянием (через складывающийся баланс) на почву.

Математическое моделирование позволяет преодолеть объективную невозможность простановки строгих экспериментов одновременно в широком диапазоне различных исходных условий. Для анализа использованы агроклиматические и почвенные условия Курской области и агрохимическая характеристика почв хозяйств по данным агрохимических станций Курская и Рыльская (таблица 2).

Таблица 1 - Удельный вынос элементов питания на единицу продуктивности, кг д.в./ц з.е.

ЭЛЕМЕНТЫ ВЫНОСА	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Сумма элементов
Основная продукция	1,78	0,63	1,58	3,99
Побочная продукция	0,62	0,19	0,98	1,79
ПКО (остаточный)	1,23	0,35	1,40	2,98
Категории выноса				
Хозяйственный	2,40	0,82	2,56	5,78
Биологический (полный)	3,63	1,17	3,96	8,76
Соотношения выносов				
Хозяйственный / полный	0,66	0,70	0,65	0,66
Основная / полный	0,49	0,54	0,40	0,46
Остаточный/ полный	0,34	0,30	0,35	0,34

Таблица 2 - Статистическая характеристика выборки агрохимических свойств почв по хозяйствам Курской области, n=404

Параметры	Среднее	Минимум	Максимум	25 %	75 %	SD	V %
Гумус, %	4,2	1,8	7,0	3,2	5,2	1,2	28,1
N _{шт} , мг/кг	111,5	41,1	195,7	85,4	136,1	32,7	29,3
P ₂ O ₅ , мг/кг	141,0	53,1	240,0	119,5	159,4	33,2	23,5
K ₂ O, мг/кг	110,9	62,5	220,0	91,1	127,2	28,1	25,3
pH _{KCL}	5,5	4,7	7,1	5,1	5,9	0,5	8,9
Пб, ц з.е./га	26,6	16,8	43,9	23,2	29,0	4,7	17,5
КОП, ц з.е./га	61,3	47,0	70,0	57,0	66,0	6,1	9,9
ПР, ц з.е./га	44,6	32,0	56,0	43,0	47,0	4,0	8,92

Рисунок 1 - Соответствие баланса элементов по расчетным коэффициентам использования и выносу урожаем с учетом вносимых полных доз

Установлено, что ввиду особенностей биологического потребления элементов питания и соотношения их хозяйственного выноса, возможности достижения положительного баланса азота и калия ограничены высокими коэффициентами их использования в севообороте. Так, соответствие хозяйственного выноса поступлению элементов питания по азоту, фосфору и калию (балансовый коэффициент использования равен единице) наступает при уровне доз азота 100-110, калия 110-120 и фосфора 35-45 кг д.в. га (рисунок 2).

Исходя из структуры параметров формирования баланса элементов (3) следует, что расчет доз удобрений, учитывающих эффективность их использования относительно обеспеченности самой почвы, повышает интенсивность баланса на бедных малоплодородных почвах и снижает его на средние и высокообеспеченных при росте отрицательного баланса.

Рисунок 2 - Зависимость балансовых коэффициентов использования элементов (Бк) от уровня вносимых доз

Значения баланса элементов питания в почвах не всегда коррелируют с изменением подвижных их форм (фосфора, калия), поскольку формирование их режимов происходит при участии процессов мобилизации - иммобилизации, сорбции-десорбции, фиксации-высвобождения, а также под влиянием растений [17, 18, 19].

Однако могут служить критерием изменения потенциально доступных их форм и плодородия почвы. Поэтому уровень баланса согласуется с возможной эффективностью применяемых элементов в зависимости от исходной обеспеченности почв соответствующими элементами. Основным условием достоверного накопления в почвах подвижного фосфора и калия является внесение соответствующих удобрений в дозах, превышающих вынос этих элементов питания с урожаем. Эти величины могут существенно изменяться в зависимости от подтипа почв, их гранулометрического состава, содержания гумуса и исходного содержания подвижных форм этих элементов, местоположения почв в рельефе,

состава севооборота. Интенсификация сельскохозяйственного производства не снижает роли органического вещества почвы как системообразующего фактора оптимизации режима питательных элементов, плодородия почв в целом.

Целесообразным подходом в отношении гумуса почвы является поддержание его содержания на исходном уровне при сложившихся условиях агроэкосистемы [20, 21].

Возможность более детального учета баланса азота предполагает и более обоснованные расчеты складывающегося баланса гумуса в почвах в зависимости от фактического уровня интенсификации использования пашни и потерь азота почвы:

$$B_N = PP \cdot WX_N - D_N \cdot Kx \cdot k_{iN} \quad (4)$$

где B_N – вынос азота почвы, кг/га;

PP – продуктивность севооборота ц з.е./га;

WX_N – хозяйственный вынос азота кг/ ц з.е.;

k_{iN} – коэффициент использования азота;

Kx – отношение хозяйственного выноса к полному.

Исследования показывают, что снижение дефицита баланса азота на каждый килограмм способствует сохранению 9-11 кг гумуса почвы. При этом, однако, бездефицитный баланс азота возможен только при очень высоком уровне насыщения минеральным азотом (более 100 кг д.в.) остаточные уровни (не использованные растениями) которого способствуют повышению подвижности гумуса и его дальнейшему разрушению. Таким образом, достижение наименее дефицитного баланса гумуса почвы возможно только при удовлетворении потребности в азоте как минеральными, так и органическими источниками.

В значительной мере решение проблемы обеспеченности почвы микроэлементами и, соответственно, растений лежит в сфере оптимизации их баланса в системе почва-растение. При этом основную роль в данном вопросе играют органические удобрения [22]. С учетом химического состава элементов урожая основных сельскохозяйственных культур в побочной продукции растениеводства концентрируется от 30 до 50 % микроэлементов от общего хозяйственного выноса (таблица 3).

Наряду с содержащимися микроэлементами в минеральных удобрениях, применение органических удобрений и побочной продукции растениеводства может существенно снизить отрицательную дина-

мику содержания основных микроэлементов в пахотных почвах.

Таким образом, управление агрохимическими свойствами почв предполагает определение необходимого, целесообразного уровня среднегодового (по севообороту) насыщения средств системы удобрений для достижения целесообразного уровня эффективного плодородия, обеспечивающего экономически обоснованные уровни продуктивности и баланс элементов.

В соответствии с этим разработана структурно-функциональная схема модели управления агрохимическими свойствами почв (рисунок 3).

На первом этапе формируется блок исходных данных включающий агроклиматические условия, почвенные и агрохимические характеристики, фактическую продуктивность севооборота и дозы внесения удобрений, а также стоимость сельскохозяйственной продукции, удобрений и топлива.

На втором этапе проводится оценка почвенно-климатических ресурсов продуктивности с учетом тепло-влагообеспеченности периода вегетации и качества почв [23]. Количественная привязка к хозяйственным условиям осуществляется последовательно с использованием данных фактической производственной деятельности и продуктивности при внесении удобрений.

На третьем этапе определяется потребность в мелиорантах, минеральных и органических удобрениях с учетом результатов баланса для севооборота. Расчет уровней насыщения удобрениями тесным образом взаимосвязан с расчетом планируемой целесообразной продуктивности, ориентированной на различные критерии оптимизации - максимум чистого дохода, заданный уровень возврата элементов питания в зависимости от плодородия почвы [16].

При этом, первоочередным мероприятием оптимизации параметров свойств почв является устранение лимитирующих факторов системного характера к которым относятся физико-химические свойства почв. Для условий почвенного покрова областей ЦЧР, ввиду наличия значительных площадей кислых почв проводят известкование. Дифференцированные по условиям мелиоративные дозы известковых материалов, ввиду значительного влияния уровня кислотности на азотный, фосфорный и калийный режим рассчитываются на достижение оптимальных уровней pH_{KCL} с учетом типа почв, гранулометрического состава, структуры севооборота и ведущих культур на основе учета буферных свойств почв.

Таблица 3 - Средний вынос микроэлементов на 1 ц.з.е, г/га

B	Cu	Mn	Zn	Mo
Основная продукция				
0,80	0,50	3,10	1,40	0,035
Побочная продукция				
0,40	0,26	4,13	1,56	0,030
Хозяйственный вынос				
1,2	0,8	7,2	3,0	0,07

Рисунок 3 - Функциональная блок – схема модели управления агрохимическими свойствами почв

$I_M = ((pH_{opt} - pH_i) / pH_i) \cdot 2,5 \cdot h \cdot d \cdot (S + Hg) \cdot (1 + \tau \cdot pH_i)$, (5)
 где I_M - мелиоративная доза извести ($CaCO_3$, т/га);
 pH_i и pH_{opt} - исходное и оптимальное значения pH_{KCL} ;
 h - глубина (м); d - плотность почвы ($г/см^3$);
 S - сумма обменно-поглощенных оснований, Мэкв/100 г;
 Hg - гидролитическая кислотность Мэкв/100 г;
 τ - показатель удельной дифференциальной емкости почвы.

Среднегодовые дозы $CaCO_3$ для поддерживающего известкования (т/га) оцениваются на основании основных статей баланса по завершении цикла расчетов по:

$I_{II} = 10^{-3} (I_j + t^{-1} (\sum I_M + \sum I_W - \sum I_O))$, (6)
 где I_j - потери $CaCO_3$ на вымывание из почвы, кг/га год;
 I_M - потери $CaCO_3$ при внесении минеральных удобрений, кг/га;
 I_W - потери $CaCO_3$ на вынос урожаем культур, кг/га;
 I_O - поступление $CaCO_3$ с органическими удобрениями, кг/га;
 t - количество культур севооборота, период, лет.

Для осуществления расчетов по основным блокам модели разработана база справочных и норма-

тивных данных, включающая нормативы выноса элементов питания по 30 основным сельскохозяйственным культурам для условий ЦЧР, а также базовые коэффициенты возврата элементов питания для основных типов и подтипов почв ЦЧР, к которым отнесены светло-серые лесные, серые лесные, темно-серые лесные, черноземы оподзоленные, черноземы выщелоченные, черноземы типичные, черноземы обыкновенные.

Выводы. При планировании уровней сбалансированного насыщения агрохимическими средствами необходимо учитывать как возможную их эффективность, так и складывающийся баланс основных биогенных элементов при фактической реализации в севообороте. В современных жестких экономических условиях к обоснованным элементам агрохимического окультуривания следует отнести химическую мелиорацию кислых почв. Повышение интенсивности баланса элементов питания с целью оптимизации свойств почв имеет ограничения экономического и экологического характера и не может быть решено только минеральной системой удобрений. С точки зрения сохранения плодородия почв и повышения эффективности производства продукции единственным решением является максимальный возврат биогенных элементов в органической форме

– внесение побочной продукции, повышения уровня биологизации севооборотов, применение дополнительных органических удобрений. Общая закономерность состоит в повышении доли органических компонентов в составе органо-минеральных систем удобрений в ряду почв от черноземов к серым лесным и от тяжелых к более легким по гранулометрическому составу. Предварительный прогноз эффективного баланса питательных элементов, баланса кальция, магния и органического вещества, с учетом

возможной эффективности средств системы удобрений в настоящих условиях может быть основой сбалансированного подхода в сфере регулирования интенсификации производства для обеспечения устойчивой продуктивности и сохранения плодородия почв. Усовершенствованные приемы оценки балансов основных элементов позволяют адаптировать разрабатываемые системы удобрений для фактических агроэкологических условий и уровня применяемых агротехнологий.

Список использованных источников

1. Сычев В.Г., Беличенко М.В., Романенков В.А. Результаты мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности севооборотов и изменения свойств почв в длительных опытах Географической сети // Плодородие. - 2017. - № 6. – С. 2-7.
2. Кудяров В.Н., Соколов М.С., Глинушкин А.П. Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному использованию // Агрохимия - № 6. - 2017. – С. 3-11.
3. Лукин С.В. Динамика основных агрохимических показателей плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России // Агрохимия. - 2011. - № 6. - С. 11-18.
4. Чекмарев П.А. Агрохимическое состояние пахотных почв ЦЧО России // Достижения науки и техники АПК. - 2015. - Т. 29. - № 9. - С. 17-20.
5. Чекмарев П., Лукин С. Динамика плодородия пахотных почв, использования удобрений и урожайности основных сельскохозяйственных культур в центрально-черноземных областях России // Международный сельскохозяйственный журнал. - 2017. - № 4. – С. 41-44.
6. Кирюшин В.И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования // Достижения науки и техники АПК. - 2016. - № 3. - С. 19-25.
7. Жуков Ю.П. Баланс питательных веществ как прогнозно-экологический показатель плодородия почв и продуктивности культур // Агрохимия. - 1996. - № 7. - С. 35-45.
8. Сычев В.Г., Шафран С.А. О балансе питательных веществ в земледелии России // Плодородие. - 2017. - № 1(94). - С. 1-4.
9. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / Под ред. А.Л. Иванова и Л.М. Державина. - М.: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. - 392 с.
10. Чуян Г.А., Карпинец Т.В., Проценко Е.П. Методические указания по автоматизированному проектированию системы удобрения в севооборотах Центрального Черноземья. - Курск, 2000. - 70 с.
11. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. - М.: Изд-во ЦИНАО, 2000. – 40 с.
12. Чуян О.Г. Усовершенствованная база данных для планирования урожайности сельскохозяйственных культур при проектировании системы удобрений (для Центрального Черноземья). - Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2011. - 53 с.
13. Чуян О.Г. База данных для регулирования физико-химических свойств кислых почв в адаптивно-ландшафтном земледелии (для Центрального Черноземья). - Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2012. - 78 с.
14. Чуян О.Г. Усовершенствованная база данных для определения потребности в органических удобрениях при проектировании системы удобрений. – Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2013. – 71 с.
15. Акименко А.С. Методика использования ресурсов в земледелии на основе информационно-энергетического анализа / Под ред. В.М. Володина. – Курск: Изд-во ЮМЭКС, 2000. - 76 с.
16. Чуян О.Г. Модель системы удобрений в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья // Достижения науки и техники АПК. - 2017. – Т 31. - № 12. – С. 5-8.
17. Иванов А.Л., Сычев В.Г. Державин Л.М. Агробιοхимический цикл фосфора. - М.: Россельхозакадемия, 2012. - 512 с.
18. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. - М.: Ледум, 2000. - 185 с.
19. Никитина Л.В. Исследование калийного режима разных типов почв в длительных опытах геосети // Агрохимия. - 2018. - № 1. - С. 39-51.

20. Сычев В.Г., Шевцова Л.К., Мерзлая Г.Е. Исследование динамики и баланса гумуса при длительном применении систем удобрений на основных типах почв // *Агрохимия*. - 2018. - № 2. - С. 3-21.
21. Шарков И.Н., Данилова А.А. Влияние агротехнических приемов на изменение содержания гумуса в пахотных почвах // *Агрохимия*. - 2010. - № 12. - С. 72-81.
22. Лукин С.В. Микроэлементы в почвах ЦЧО // *Земледелие*. - 2015. - № 6. - С. 26-28.
23. Чуян О.Г., Дериглазова Г.М. Оценка агроклиматического потенциала продуктивности пашни для модели управления агрохимическими свойствами почв // *Земледелие*. - 2018. - № 7. - С. 6-11.

List of used sources

1. Sychev V.G., Belichenko M.V., Romanenkov V.A. Results of monitoring crop yields, crop rotations productivity and changes in soil properties in long-term experiments of the geographic network. *Fertility*. - 2017. - № 6. - P. 2-7.
2. Kudeyarov V.N., Sokolov M.S., Glinushkin A.P. The current state of the soil of agrocenoses of Russia, measures for their recovery and rational use // *Agrochemistry* - № 6. - 2017. - P. 3-11.
3. Lukin S.V. Dynamics of the main agrochemical indicators of arable soil fertility in the Central Black Earth regions of Russia // *Agrochemistry*. - 2011. - № 6. - P. 11-18.
4. Chekmarev P.A. Agrochemical condition of arable soils of the Central Election Commission of Russia // *Achievements of science and technology of agriculture*. - 2015. - V. 29. - № 9. - P. 17-20.
5. Chekmarev P., Lukin S. Dynamics of arable soil fertility, fertilizer use and yields of major crops in the central black earth regions of Russia // *International Agricultural Journal*. - 2017. - № 4. - P. 41-44.
6. Kiryushin V.I. Mineral fertilizers as a key factor in the development of agriculture and optimization of environmental management // *Achievements of science and technology of agriculture*. - 2016. - № 3. - P. 19-25.
7. Zhukov Yu.P. Nutrient balance as a predictive ecological indicator of soil fertility and crop productivity // *Agrochemistry*. - 1996. - № 7. - P. 35-45.
8. Sychev V.G., Shafran S.A. On the balance of nutrients in agriculture of Russia // *Fertility*. - 2017. - № 1 (94). - P. 1-4.
9. Methodological guidelines for the design of fertilizer application in technologies of adaptive landscape agriculture / Ed. A.L. Ivanova and L.M. Derzhavina. - M.: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Russian Academy of Agricultural Sciences, 2008. - 392 p.
10. Chuyan, G.A., Karpinets, T.V., Protsenko, E.P. Guidelines for automated design of fertilizer systems in the crop rotation of the Central Black Soil Region. - Kursk, 2000. - 70 p.
11. Guidelines for determining the nutrient balance of nitrogen, phosphorus, potassium, humus, calcium. - M.: Publishing house TsINA O, 2000. - 40 p.
12. Chuyan O.G. Improved database for planning crop yields in the design of fertilizer systems (for the Central Black Soil Region). - Kursk: GNU VNIIZIZPE RAAS, 2011. - 53 p.
13. Chuyan O.G. Database for regulating the physicochemical properties of acidic soils in adaptive landscape agriculture (for the Central Black Earth Region). - Kursk: GNU VNIIZIZPE RAAS, 2012. - 78 p.
14. Chuyan O.G. Improved database for determining the need for organic fertilizers when designing a fertilizer system. - Kursk: GNU VNIIZIZPE RAAS, 2013. - 71 p.
15. Akimenko A.S. Methods of using resources in agriculture based on information and energy analysis / Ed. V.M. Volodin. - Kursk: Publishing House YuMEX, 2000. - 76 p.
16. Chuyan O.G. Model of fertilizer system in adaptive landscape agriculture of the Central Chernozem region // *Achievements of science and technology of agriculture*. - 2017. - T 31. - № 12. - P. 5-8.
17. Ivanov A.L., Sychev V.G., Derzhavin L.M. Agrobiological cycle of phosphorus. - M.: Russian Agricultural Academy, 2012. - 512 p.
18. Prokoshev V.V., Deryugin I.P. Potassium and potash fertilizers. - M.: Ledum, 2000. - 185 p.
19. Nikitina L.V. Investigation of the potassium regime of different soil types in long-term experiments of the geo-network // *Agrochemistry*. - 2018. - № 1. - P. 39-51.
20. Sychev V.G., Shevtsova L.K., Frozen G.E. Study of the dynamics and balance of humus with long-term use of fertilizer systems on the main types of soil // *Agrochemistry*. - 2018. - № 2. - P. 3-21.
21. Sharkov I.N., Danilova A.A. The influence of agrotechnical methods on the change in the content of humus in arable soils // *Agrochemistry*. - 2010. - № 12. - P. 72-81.
22. Lukin S.V. Trace elements in the soils of TsChO // *Agriculture*. - 2015. - № 6. - P. 26-28.
23. Chuyan, O.G., Deriglazova, G.M. Assessment of the agroclimatic potential of arable land productivity for a model for managing the agrochemical properties of the soil // *Farming*. - 2018. - № 7. - P. 6-11.