

**Тебуев Х. Х., Дзуганов В.Б.
Tebuev Kh.Kh., Dzuganov V.B.**

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ В СИСТЕМЕ «РАСТЕНИЕ – ПОЧВА-ПОГОДА-УРОЖАЙ»
ECOLOGICAL EQUILIBRIUM IN SYSTEM « A PLANT - BEDROCK-WEATHER-CROP»**

На современном этапе более прагматична задача не изменения свойств почв в соответствии с требованиями культур, а подбор культур для определенных почвенных условий (с учетом агрофизических, биологических и агрохимических показателей почв), которые могут оптимально реализоваться в рамках адаптивно-ландшафтной системы земледелия с наименьшими материальными затратами на окультуривание почв. Это будет способствовать сохранению и восстановлению природного плодородия почв, биоразнообразия и продуктивности биоты, являющихся основой существования природных ландшафтов, и созданию экологически устойчивых и экономически эффективных агроландшафтов.

Культуры, выбранные для возделывания в определенных почвенных условиях, будут наиболее целесообразно использовать почвенный потенциал (противодействовать почвоутомлению) и без больших вложений, при соблюдении научно обоснованных севооборотов, давать хороший по количеству и качеству урожай. Существует много различных культур и типов почв, и поэтому экспериментальное определение почвенных параметров и конкретной культуры для всех возможных комбинаций слишком проблематично. Однако большинство возделываемых культур обладает общими требованиями к почвенным условиям, это позволяет дифференцированно определять диапазон оптимальных параметров, свойств почв для преобладающего перечня возделываемых культур, что значительно облегчает исследования влияния плодородия почв на урожай и построение эмпирических схем и моделей, которые основаны на учете количества питательных веществ содержащихся в почве. В работе приводятся несколько методов определения норм внесения удобрений, обеспечивающих максимальный урожай, в том числе модель, которая отражает отрицательные последствия, связанные с избыточным количеством азота (обратные полиномиальные зависимости). В общем случае такие дифференциальные уравнения можно решить только численно, однако для частных случаев оказывается возможным аналитическое решение.

At the present stage, a more pragmatic task is not to change the properties of the soil in accordance with the requirements of crops, but to select crops for certain soil conditions (taking into account the agrophysical, biological and agrochemical indicators of the soil), which can be optimally realized in the framework of adaptive landscape land-relief system with the lowest material costs for the improvement of the soil. This will contribute to the preservation and restoration of the natural soil fertility, biodiversity and productivity of biota, which are the basis of the existence of natural landscapes, and the creation of environmentally sustainable and cost-effective agricultural landscapes. The crops selected for cultivation under certain soil conditions will most appropriately use the soil potential (to counteract soil depletion) and without large investments, while observing scientifically based crop rotations, one can have a yield in good quality and quantity. There are many different crops and soil types, and therefore experimental determination of soil parameters and a particular crop is too problematic for all possible combinations. However, the majority of cultivated crops have general requirements for soil conditions, this allows a differentiated determination of the range of optimal parameters and soil properties

for the prevailing list of cultivated crops, which greatly facilitates the study of the effect of soil fertility on yield and the construction of empirical schemes and models contained in the soil. The paper presents several methods for determining the rate of fertilizer application, providing maximum yield, including a model that reflects the negative effects associated with excess nitrogen (inverse polynomial dependencies). In the general case, such differential equations can be solved only numerically; however, for special cases, an analytical solution is possible.

Ключевые слова: биота, агроландшафт, агроценоз, деградация почв, фертигация, мелиоранты, взаимокompенсация, обратные полиномиальные зависимости.

Key words: biota, agrolandscape, agrocenosis, soil degradation, fertigation, meliorant, mutual compensation, inverse polynomial dependencies.

Тебуев Хызыр Хасанович – кандидат географических наук, доцент кафедры природо-обустройства, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

Тел.: 8-962-650-13-23

E-mail: senta48@mail.ru

Дзуганов Вячеслав Барасбиевич – доктор технических наук, профессор кафедры механизации сельского хозяйства, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

Тел.: 8-928-082-20-70

E-mail: kbqau.riu@mail.ru

Tebuev Hyzyr Hasanovich - Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Nature Management, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

Tel: 8-962-650-13-23

E-mail: senta48@mail.ru

Dzuganov Vyacheslav Barasbievich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Agricultural Mechanization, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

Tel.: 8-928-082-20-70

E-mail: kbqau.riu@mail.ru

На современном этапе при выборе культур для возделывания в севообороте основное внимание уделяется агрометеорологическим требованиям культуры и сорта к условиям территории. Некоторые авторы (в основном, зарубежные) на первое место ставят температурный режим, затем долготу дня. Если первое не подлежит сомнению, то второе очевидно в большей степени определяется возделываемой культурой и для районов с недостаточным увлажнением как КБР (долгота дня) далеко не на втором месте для роста и развития возделываемых в этих районах культур. Агрометеорологи нашей страны (ученые из ВНИИСХМ, Гидрометцентра РФ и др.) давно расставили роль каждого из факторов среды в формировании урожая для различных регионов (определили лимитирующие урожай факторы). При таком выборе культур для возделывания вклад почвенных условий на конечный результат (урожай)

учитывался косвенно и, чтобы удовлетворить растения продуктами питания, затрачивались большие материальные и трудовые ресурсы.

Нам более симпатизируют предложения, в которых на первое место ставится задача не изменения свойств почв в соответствии с требованиями культур, а подбор культур для определенных почвенных условий. Это будет способствовать сохранению и восстановлению природного плодородия почв, биоразнообразия и продуктивности биоты, являющихся основой существования природных ландшафтов, и созданию экологически устойчивых и экономически эффективных агрокультурных ландшафтов[16,19]. При таком подходе не придется заново восстанавливать плодородие почвы, надо лишь вносить коррективы для сбалансирования вынесенных элементов питания с урожаем. Т.е. вносить органические удобрения под те культуры, при возделывании которых происходит наибольшая минерализация гумуса [3] (в условиях КБР обычно под овощные, некоторые технические культуры, виноград и в меньшей степени под зернобобовые, корнеплоды, картофель, саженцы плодовых).

Нам представляется, что в этот перечень выбора культур для возделывания необходимо включить и экономические возможности хозяйства по удовлетворению возделываемых культур необходимыми дозами удобрений, поддержанию оптимальной влажности почвы (система мелиорации), соблюдению соответствующей агротехники (наличие парка с/х машин, механизаторов, специалистов), а также потенциал акклиматизации этих растений для данных агрометеорологических условий.

Таким образом, культуры, выбранные для возделывания в определенных почвенных условиях, будут наиболее целесообразно использовать почвенный потенциал и без больших вложений, при соблюдении научно обоснованных севооборотов, давать хороший по количеству и качеству урожай. При несоблюдении научно обоснованных севооборотов не будет соответствия (адекватности) культуры среде произрастания, т.е. нарушится экологическое равновесие в системе «растение – почва» вследствие одностороннего

воздействия на почву агроценозов [7], что может привести к почвоутомлению (утере почвой своей основной функции - производство продукции) особенно в условиях монокультуры. Эти факторы обуславливают по-другому взглянуть на методы воспроизводства плодородия почвы, как вещественным, так и технологическим путем.

При исследовании количественной оценки плодородия почв мы использовали традиционные показатели: агрофизические (гранулометрический и минералогический состав, структура, плотность, порозность, воздухоёмкость и мощность пахотного слоя); биологические (содержание, запасы и состав органического вещества почвы, активность почвенной биоты, фитосанитарное состояние почвы) и агрохимические (содержание питательных веществ, реакция почвенной среды и поглотительные свойства почвы). А также характеристик, способствующих созданию мощной корневой системы, развитой по профилю почвы (по горизонтали и вертикали) [8], способной взаимодействовать с почвой и поглощать из нее (порою избирательно) необходимые питательные элементы. Т.е. все показатели почвы, которые находятся в корреляционной связи с урожаем. При интенсификации земледелия наблюдается агрофизическая деградация почв (техногенные разрушения) из-за чрезмерных нагрузок, поэтому необходимо в дальнейшем исследовать пути преодоления данной проблемы, а также интенсивность минерализации гумуса, который пополняет запасы азота и фосфора в почве и обогащает почвенный воздух углекислым газом, способствуя развитию микроорганизмов. Пока основными способами ее предотвращения являются минимизация обработки почвы адаптированными приемами для почв лесостепных и степных зон, обогащение ее активной органикой [9] (и, в первую очередь, мульчированием пожнивными остатками и сидератами).

Есть определенные сложности в регулировании почвенного плодородия т.к. почвы каждого поля севооборота должны отвечать потребностям всех культур ротации. Поэтому надо по возможности использовать сорта в севообороте, почти не реагирующие на отдельные компоненты почв (кислот-

ность, повышенная плотность и др.) и не лимитирующих урожайность других. В этих условиях надо максимально использовать возможности взаимокompенсации почвенных характеристик. В ряде случаев это возможно, например, повышенное содержание CO_2 резко снижает транспирацию растений [13], если увеличить выделение почвой CO_2 за счёт рыхления почвы верхнего слоя (сухой полив), то недостаток влаги для урожая будет уменьшен [5] (в эмпирических статистических моделях с/х культур заслуживающего внимания работы по учёту CO_2 в формировании урожая мы не обнаружили). Минерализованный гумус пополняет запасы азота и фосфора в почве, но в большей степени он обогащает почвенный воздух углекислым газом, способствуя развитию микроорганизмов [3]. В литературе есть разночтения относительно органического фосфора и азота. Для обеспечения роста здорового растения в нем должно содержаться не менее 0,10 г фосфора на 1 г общего органического азота [11]. Суть связи между концентрациями азота и фосфора заключается в том, что при очень плохой обеспеченности азотом растения сокращают поглощение фосфора, а при плохой обеспеченности ростовых процессов фосфором растения сокращают поглощение (или фиксацию – как в случае бобовых) азота. При опоздании с посевом обычно урожай резко снижается. Но при увеличении норм высева и плотном ложе для семян (предпосевное и послепосевное прикатывание), резко уменьшится ущерб от позднего сева [5]. Современные сорта и гибриды картофеля, сахарной свеклы, подсолнечника и других пропашных культур при соблюдении агротехники на фоне увеличения доз удобрений (особенно азота), повышают урожай биомассы, и, как правило, доля хозяйственно ценной части возрастает в большей степени, чем урожай биомассы. А в преобладающей части зерновых - повышение урожая биомассы на 30%, дает прибавку урожая зерна лишь только на 10 -15%. Это соотношение можно нивелировать (если не устранить) путем использования в севооборотах современных сортов зерновых культур.

И еще - все, что позволяет лучше использовать освещенность и эндогенные ритмы растений положительно скажется на повышении плодородия почвы, урожайности и качестве продукции.

Если ротацию возделываемых культур в севообороте подобрать таким образом, чтобы они обладали общими требованиями к почвенным условиям, то можно определить оптимальные свойства почв для этих культур. В таблице 1 для большинства культур перечислены наиболее общие показатели оптимальных параметров состава, свойств и режимов почв.

Таблица 1 – Примерные оптимальные показатели параметров почв [16,18]

Показатели параметров почв.	
Состав, свойства и режимы почв	Примерные оптимальные показатели параметров почв
Минералогический состав	Наличие полевых шпатов, роговых обманок, глинистых минералов с высокой ЕКО, кальцита
Гранулометрический состав	От супесчаных до глинистых в зависимости от условия увлажнения
Химический состав	Полиэлементный с отсутствием дефицита и избытка кальция и магния, загрязнения тяжелыми металлами, радионуклидами и другими токсикантами. Содержание гумуса, превышающее критическое на 1% и более. Содержание ЛОВ более 0,2-0,4%
Физико-химические свойства	ЕКО более 10 мг-экв для супесчаных и более 15 мг-экв для суглинистых. Преобладание в составе ППК кальция и магния. Степень насыщенности основаниями более 55-70%. Реакция среды – близкая нейтральной
Агрохимические свойства	Оптимальное содержание элементов питания в соответствии с зональными группировками
Общие физические свойства	Общая порозность 55-65%, плотность 1,0-1,3 г/см ³
Структура	Содержание агрономически ценных водопрочных агрегатов (0,25-10 мм с порозностью более 45%) более 55% массы почвы
Водные свойства и запасы влаги	Запасы воды в диапазоне ВРК-НВ, 30-50 мм в пахотном слое, 100-200 - в метровом
Воздушные свойства и состав почвенного воздуха	Порозность аэрации более 20% объема почвы. Содержание CO ₂ 0,03-2(3)%; O ₂ - 19-20%
Окислительно-восстановительные условия	ОВП (Eh) 400-600 мВ

Высоким потенциальным плодородием обладают черноземные почвы, низким – подзолистые почвы, однако есть данные, что в засушливые годы урожайность культур на черноземах может быть ниже, чем на подзолистых почвах[17]. Попробуем этот вывод обосновать на основе физического закона передвижения воды в различных почвогрунтах. При длительном бездождевом периоде на фоне повышенных температур и отсутствия подпитки (оро-

шение, грунтовые воды), интенсивность пересыхания почвы в черноземах в слое почвы с основной массой корней в разы выше, чем на подзолистых почвах. Расчеты сделаны с большими допущениями, в которых учитывалось только значительное превышение температуры в этих условиях по профилю в черноземах, способствующее, с учетом пористости, высокой испаряемости. В результате имеем, что когда урожайность на черноземах из-за лимита воды резко сокращается, на подзолистых почвах еще остается некоторое количество влаги, которая позволяет культурам завершить процесс вегетации без больших потерь урожая. Это один из примеров, когда к оценке плодородия надо подходить дифференцированно с учетом всех компонентов от чего зависит урожай.

Пространственное распределение состояний плодородия почв можно было моделировать при наличии необходимого информационного обеспечения в рамках отечественных ГИС-технологии (GeoDraw / GeoGraph, Sinteks / Tri, GeoCAD, EasyTrace) [17].

В таблице 2 приводятся уровни показателей состава, свойств и режимов почв лимитирующие урожай основной массы агроценозов.

Таблица 2 – Критические уровни показателей почв [17]

Критические уровни показателей состава, свойств и режимов почв	
Состав, свойства и режимы почв	Критические параметры
Минералогический состав	Преобладание кварца, более 98%
Гранулометрический состав	Песчаные почвы в аридных областях, глинистые - в гумидных. Высокая степень каменистости.
Химический состав	Преобладание оксида кремния (более 98%). Содержание гумуса менее 1% в почвах с сульфатным составом гумуса и менее 2% - с гуматным. Содержание ЛОВ менее 0,1%. Содержание водорастворимых солей более 0,6-2% в зависимости от вида солей. Повышенная концентрация тяжелых металлов и токсикантов, превышающие ПДК, и радионуклидов
Физико-химические свойства	ЕКО менее 5 мг-экв/100 г почвы. Степень насыщенности основаниями менее 50%, pH KCL ниже 4,5-5. Содержание обменного натрия более 10-15% от ЕКО, сильнощелочная реакция среды pH более 8,5
Агрохимические свойства	Содержание элементов питания очень низкое
Общие физические	Плотность более 1,4-1,5 г/см ³ , общая порозность менее 40%

свойства	
Структура	Содержание агрономически ценных агрегатов менее 40%
Водные свойства и запасы влаги	Влажность, соответствующая ВЗ, водопроницаемость - ниже 30 мм/час
Воздушные свойства и состав почвенного воздуха	Порозность аэрации менее 15%. Содержание CO ₂ более 3%; O ₂ - менее 10-15%
Окислительно-восстановительные условия	ОВП (Eh) ниже 250 мВ

Из основных характеристик почв КБР, которые мы заимствовали из [4] (таблица 3), и отражает современное ее состояние, видим, что преобладающая их доля скорее тяготеет к оптимальным (таблица 1), чем к сильно лимитирующим урожай типам почв (таблица 2). Вся эту информацию можно в дальнейшем использовать в моделях, описывающих реакции растений на внесение удобрений.

Таблица 3 – Почвенные характеристики КБР

Типы почв / характеристики	Мощность гумусового слоя, см	Структура	Содержание, %				Ёмкость поглощения, мг-экв. на 100 г почвы	Сумма водорастворимых солей	Реакция почвенного раствора
			гумуса	азота	фосфора	калия			
Темно-каштановые почвы	60-90	глыбисто-комковато-пылеватая	3,0-3,5	0,18-0,23	0, 13-0,18	до 2,3	20,3-26,9	0,1% (иногда до1,0%).	слабощелочная и щелочная
Южные черноземы	70-90	комковато-пылеватая	3,4-4,5	0,20-0,28	0,18-0,22	2,46	24-28	0,05	слабощелочная
Обыкновенные черноземы	70-100	комковато-зернистая	3,0-6,0	0,21-0,35	0,14-0,28	2,0-2,5	33,3-39,4		щелочная
Типичные черноземы	50-120	Зернистомелкокомковатая	4,0-6,5	0,25-0,35	0,18-0,28	2,0-2,5	30,4-34,9	0,092	нейтральная
Лугово-черноземные	37-75	комковатая или зернисто-комковатая	3,5-7,9	0,25-0,37	0,18-0,28	2,0- 2,5	27-32	Отмечено наличие засоленности в материнской породе	слабощелочная
Луговые почвы степей	40-67	порошисто-комковато-зернистая	3,3-4,1				22-26		слабощелочная
Аллювиально-луговые	44-46	комковато-пылеватая	2-3				20,5-23,4	имеют засоленность	щелочная
Выщелоченные черноземы	42-106	ореховато-комковатая	4,0-7,0	0,25-0,35	0,15-0,31	1,9-2,5	33,9-37,0		нейтральная
Оподзоленные черноземы	53-85	комковато-призматическая	3,5-6,0	0,2-0,3	0,20-0,35		30,6-33,6		сдобокислая

Попробуем, основываясь на общих законах потребности растений в агроценозах дать оценку оптимального режима внесения удобрений с учетом специфики культуры, типа почв и влияния, агрометеорологических условий. Как известно (и подтверждение тому таблица 3) почва сама может содержать некоторое количество питательного вещества.

Пусть X_s (собственное) и X_a (вносимое) количество питательного вещества, которое оказывает на культуру аддитивное действие, тогда

$$X = X_s + X_a \quad (1)$$

Для данной культуры, выращиваемой на данной почве, используя в качестве функции отклика зависимость (13), можно определить параметры, необходимые для решения рассматриваемой задачи. Если пренебречь снижением урожайности от избыточного азота, то в число таких параметров войдут:

$$A/B_x \text{ и } X_s \quad (2)$$

Существует много различных культур и типов почв, и поэтому экспериментальное определение указанных параметров для всех возможных комбинаций, слишком проблематично.

Для случаев, когда значения A/B_x и X_s невозможно получить непосредственно, можно рассмотреть другой подход: введем параметр C (он может принимать значения либо A/B_x либо X_s) и пусть обозначение $C_{i,j}$ привязывает этот параметр к культуре i , выращиваемой в почве типа j .

Для k культур, выращиваемых в j - типах почв, может быть сконструирована матрица:

$$\begin{array}{l}
 \text{культуры} \\
 \begin{array}{cccc}
 C_{11} \dots C_{1j} \dots C_{1n} & & & \text{почвы} \\
 \dots \dots \dots & & & \\
 C_{i1} \dots C_{ij} \dots C_{in} & & & \\
 \dots \dots \dots & & & \\
 C_{k1} \dots C_{kj} \dots C_{kn} & & &
 \end{array}
 \end{array} \quad (3),$$

согласно которой, существует $k \times n$ различных значений параметра C . В работе [12] предлагается исходить из предположения о том, что

$$\frac{c_{ij}}{c_{1j}} = \frac{c_{i1}}{c_{11}} \quad (4)$$

Если справедливость(4) доказана (экспериментально или другими методами), то $k+n - 1$ элементов матрицы могут быть определены при использовании всего лишь $k \times n$ комбинаций «культура— почва».

Со временем проблема выбора оптимального режима внесения удобрений с учетом специфики культуры, типа почвы, стратегии управления и влияния погодных условий только будет возрастать [12,14]. Решения указанной проблемы в общем виде пока нет. Однако существуют два разных подхода к проблеме — статический и динамический.

Статический подход основан на представлении урожайности культуры Y в виде функции количества вносимого удобрения X .

В качестве примера можно привести две часто используемых функции отклика [10, 11]:

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2, \quad (5)$$

$$Y = \frac{aX}{X+b}, \quad (6)$$

где a_0, a_1, a_2, a и b – постоянные коэффициенты.

При статистической оценке коэффициентов используется функция (5), а при биологической интерпретации результатов уравнение (6).

Обратные полиномы (6), могут быть приведены к линейной форме путем инвертирования:

$$\frac{1}{Y} = \frac{1}{a} - \frac{b}{aX}$$

Пусть норма внесения удобрений j -го вида составляет X_j , кг/м², а урожай анализируемой культуры с единицы площади – Y , кг/м². Тогда для данной местности, возделываемой культуры и данных условий урожая функция отклика может быть представлена в виде:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (7)$$

где n – число типов вносимых удобрений.

Норма внесения удобрений, обеспечивающая максимальный урожай Y , определяется путем приравнивания нулю частных производных функции (7):

$$\frac{\partial Y}{\partial X_1} = 0, \frac{\partial Y}{\partial X_2} = 0, \dots, \frac{\partial Y}{\partial X_n} = 0 \quad (8)$$

Подставляя найденные решения уравнения (8) $X_{1,max}$, $X_{2,max}$, ..., $X_{n,max}$, в (7), можно вычислить Y_{max} .

В рассмотренных выше моделях принималось допущение, что удобрения X_i вносятся независимо, однако на практике всегда используют сложные удобрения. Определим сложное удобрение Z через его компоненты X_i

$$X_i = \beta_i Z, \quad i = 1, \dots, n, \quad (9)$$

где β_i - коэффициенты.

Путем подстановки (9) в выражение (7) можно строить различные функции урожайности:

$$Y = F(Z), \quad (10)$$

содержащие, помимо параметров, входящих в выражение (7), еще и коэффициенты β_i . Как известно, максимум урожайности определяется при решении уравнения $dF/dZ = 0$. Наивысшая отдача вычисляется из соотношения:

$$\frac{dF}{dZ} = \frac{c_z}{p}, \quad (11)$$

где c_z — стоимость сложного удобрения Z .

Поскольку зависимость (9) линейна, можно получить соотношение:

$$\frac{dF}{dZ} = \sum_i \frac{\partial f}{\partial X_i} \frac{dX_i}{dZ} = \sum_i \beta_i \frac{\partial f}{\partial X_i}, \quad (12)$$

которое удобно использовать в формуле (11).

Анализ экономически оптимального режима внесения удобрений с помощью уравнений (9-11) базируется на предположении о том, что удельные затраты при приобретении и внесении удобрений постоянны и не зависят от нормы внесения. Есть и несколько другие подходы к решению данной задачи. Многие авторы при описании реакций на внесение удобрений, чтобы отразить отрицательные последствия, связанные с избыточным количеством азота (∞) используют обратные полиномиальные зависимости [12].

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{(1-N/\alpha)} \left(\frac{1}{A} + \frac{1}{B_N \times N} + \frac{1}{B_P \times P} + \frac{1}{B_K \times K} \right), \quad (13)$$

где Y - урожайность; α - коэффициент учитывающий снижение урожайности от избытка азота в почве; A, B_N, B_P, B_K – константы; N, P, K – нормы внесения азота, фосфора, калия.

В работе [12] для ряда овощных и зерновых культур приводится таблица, которая характеризует число параметров, отражающих относительную реакцию растений на внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений. Так, для подкормки капусты позднего срока сева

$$\frac{A}{B_N} = 210 \frac{\text{кг}}{\text{га}} N, \quad \frac{A}{B_P} = 5 \frac{\text{кг}}{\text{га}} P, \quad \frac{A}{B_K} = 18 \frac{\text{кг}}{\text{га}} K \quad (14)$$

Теперь можно определить максимальную и относительную урожайность. Предполагается, что A -асимптотическая оценка урожая (на практике принимается равной кг сырой массы на гектар), p – цена реализации конечного продукта, c – затраты на удобрения.

Нам представляется, что в связи с тем, что не всегда повышение урожая биомассы дает пропорциональную прибавку урожая зерна, надо корректировать A с учетом возделываемой культуры. Можно также, ознакомиться с работой [15], где показано, что интенсивность поглощения N, P и K в пересчете на единицу массы корней пропорциональна их содержанию в почве. В динамических моделях сельскохозяйственных культур (в частности для подсолнечника предложенного нами [8]) масса корней рассчитывается в динамике, следовательно, можно оценить интенсивность поглощения N, P и K в любой период вегетации. Кроме того в модели [8] ежедекадно рассчитывается биомасса стеблей, листьев и корзинок подсолнечника, следовательно, есть возможность численно определить асимптотическую оценку урожая (A) и параметры (14). Найденные нами характеристики по модели надо было сравнить с экспериментальными данными, но в литературных источниках, по подсолнечнику, таких работ мы не обнаружили. Следовательно, нужны эксперименты для этой культуры в конкретных почвенных и агрометеорологических условиях КБР.

Для больших коэффициентов (α) уравнения для азота, фосфора и калия становятся идентичными, и тогда аналитическое решение показывает, что произведение величины наклона начального участка кривой отклика (урожая) на цену конечного продукта должно быть больше, чем удельная стоимость удобрения.

При прочих условиях (численном решении обратного полиномиального уравнения (13)) эти полученные значения используются в качестве начальных оценок N , P , K . Так, если $\alpha=2300$, имеем (при численном решении, с учетом снижения урожайности от избытка азота в почве) $N=466$ кг/га (против 1950); $P=115$ кг/га (против 169); $K=321$ кг/га (против 475). На основании таблиц 1, 2 с учетом данных таблицы 3 и, принимая во внимание (1), надо из этих значений исключить собственное содержание в почве N , P , K .

Сравнивая полученные данные, можно видеть, что обеспечение урожая в 93% случаях от максимума имеет место при выборе экономического критерия. Причем, отрицательное влияние избыточного азота вынуждает снизить все расчетные нормы. Реализация в полном объеме схемы (3) позволило бы сэкономить материальные и трудовые затраты, ослабить (если не избежать) агрофизическую деградацию почв, получить высокий и экологически безопасный урожай. Изложенные нами статистические модели связи урожая культуры от почвенных характеристик, удобрения и погодных условий вкуче с работой [7], где на основании зернового эквивалента с учетом триединой взаимосвязи «земля – затраты - продукция» дается методика оптимизации посевных площадей под севооборотные культуры, могут в значительной мере повысить информативность и надежность имитационных моделей энергообмена в системе «растение – почва – погода – урожай» типа [6].

Литература

1. Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Пупонин А.И. и др. Земледелие. М.: Колос С, 2004. 552 с.
2. Ганжара Н.Ф. Почвоведение. М.: Агроконсалт, 2001. 392 с
3. Голованов А.И. Избранные труды. М.2011.

4. *Диданова Е.Н.* Генетическая характеристика и кадастровая оценка почв лесостепной зоны Кабардино-Балкарской республики: автореф. дис. кандидата биол. наук. Ростов-на-Дону, 2008. 24 с.
5. *Наумкин В.Н.* Проблемный подход в современной земледелии // *Агромир*, 2004. №5 (12).
6. *Тебуев Х. Х.* Теоретические основы построения имитационной модели продуктивности агроценозов // *Известия Кабардино-Балкарского ГАУ*, 2014. №1(3).
7. *Тебуев Х. Х., Беккиев Х. Х., Ульбашев А. Б.* Оптимизация посевных площадей в КБР // *Известия Кабардино-Балкарского ГАУ*, 2018. №3(20).
8. *Тебуев Х.Х.* Моделирование влияния агрометеорологических условий на формирование продуктивности подсолнечника // *Метеорология и гидрология*, 1988. №10.
9. *Хабиров И.К., Недорезков В.Д., Хазиев Ф.Х. и др.* Рекомендации по сохранению и повышению плодородия почв Республики Башкортостан. Уфа: БГАУ, 2000. 164 с.
10. *Colewell J. D.* (1977). National Soil Fertility Project III. Objectives and Procedures.-Canberra: CSIRO.
11. *Colwell O.D.* (1974). The Computation of Optimal Rates of Application of Fertilizers from Quadratic Response Functions.-Technical Paper, No. 21, 17 pp. Canberra: Division of Soils, CSIRO.
12. *Greenwood D., Cleaver T. and Turner M. K.* (1974). Fertilizer requirements of vegetable crops. – Proceedings of Fertilizer Society, No. 145.
13. *Pebingde Vries F. W. T. and H. van Kerulen*, 1982. La production actuelle et action de l'azote et du phosphore-In: La productivité des pâturages Sahéliens-Agr. Res. Rep.918, Pudoc, Wageningen, p. 196-226.
14. *Thorley J. H. M.* (1978). Crop response to fertilizer.-Annals of Botany, 42,817-826.
15. *Thornley JH. M.* (1977). Root: shoot interactions.- Symposium on Experimental Biology, 31, 367-389.
16. <http://refy.ru>
17. <http://revolution.allbest.ru>
18. <http://supersova.ru>
19. <http://elibrary.ru>

References

1. *Bazdyrev G.I., Loshakov V.G., Puponin A.I. i dr.* Zemledelie. M.: Kolos S, 2004. 552 s.
2. *Ganzhara N.F.* Pochvovedenie. M.: Agrokonsalt, 2001. 392 s
3. *Golovanov A.I.* Izbrannye trudy. M.2011.
4. *Didanova E.N.* Geneticheskaya harakteristika i kadaastrovaya ocenka pochv le-sostepnoj zony Kabardino-Balkarskoj respubliki: avtoref. dis. kandidata biol. nauk. Rostov-na-Donu, 2008. 24 s.
5. *Naumkin V.N.* Problemyj podhod v sovremennom zemledelii // *Agromir*, 2004. №5 (12).

6. *Tebuev X. X.* Teoreticheskie osnovy postroeniya imitacionnoj modeli produktivnosti agrocenozov // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo GAU*, 2014. №1(3).
7. *Tebuev X. X., Bekkiev H. H., Ul'bashev A. B.* Optimizaciya posevnyh ploshchadej v KBR // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo GAU*, 2018. №3(20).
8. *Tebuev H.H.* Modelirovanie vliyaniya agrometeorologicheskikh uslovij na formirovanie produktivnosti podsolnechnika // *Meteorologiya i gidrologiya*, 1988. №10.
9. *Habirov I.K., Nedorezkov V.D., Haziev F.H. i dr.* Rekomendacii po sohraneniyu i povysheniyu plodorodiya pochv Respubliki Bashkortostan. Ufa: BGAU, 2000. 164 s.
10. *Colewill J. D.* (1977). National Soil Fertility ProjectSH. Objectives and Procedures.-Canberra: CSIRO.
11. *Colwell OD.* (1974). The Computation of Optimal Roles of Application of Fertilizers from Quadratic Response Functions.-Technical Paper, No. 21, 17 pp. Canberra: Division of Soils, CSIRO.
12. *Greenwood D., Cleaver T. and Turner M. K.* (1974). Fertilizer requirements of vegetable crops. – Proceedings of Fertilizer Society, No. 145.
13. *PebingdeVries F. W. T. and H. van Kerulen,* 1982. La production actuelle et action de l'azote et du phosphore-In: La productivity des pasturages Saheliens-Agr. Res. Rep.918, Pudoc, Wageningen, p. 196-226.
14. *Thorley J. H. M.* (1978). Crop response to fertilizer.-Annals of Botany, 42,817-826.
15. *Thornley JH. M.* (1977). Root: shoot interactions.- Symposium o for Experimental Biology, 31, 367-389.
16. <http://refy.ru>
17. <http://revolution.allbest.ru>
18. <http://supersova.ru>
19. <http://elibrary.ru>