

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра агрохимии и  
физиологии растений

**ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Методические указания по выполнению практических занятий для студентов высших учебных заведений по направлению 35.03.04 «Агрономия», профиль «Агрономия», «Защита растений», «Плодоовощеводство», по дисциплине: «Программирование урожаев сельскохозяйственных культур»

Ставрополь  
«АГРУС»  
2019

### **Авторский коллектив:**

Устименко Е.А. - к.с.-х.н., доцент; Есаулко А.Н. – д.с.-х.н., профессор РАН; Агеев В.В. - д.с.-х.н., профессор; Коростылев С.А. - к.с.-х.н., доцент; Голосной Е.В. – к.с.-х.н., доцент; Сигида М.С., к.с.-х.н., доцент; Лобанкова О.Ю. - к.б.н., доцент; Гречишкина Ю.И. - к.с.-х.н., доцент; Беловолова А.А. - к.с.-х.н., доцент; Воскобойников А.В. - к.с.-х.н., доцент; Подколзин А.И. - д.б.н., профессор; Сычѳв В.Г. – д.с.-х.н., профессор; Куценко А.А. - к.с.-х.н., доцент; Громова Н.В. – ст. преподаватель; Ожередова А.Ю. – ассистент

### **Рецензенты:**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

*И.П. Барабаш;*

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

*В.С. Цховребов*

Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: Методические указания / Сост. Устименко Е.А., Есаулко А.Н., Агеев В.В., Коростылев С.А., Голосной Е.В., Сигида М.С., Лобанкова О.Ю., Гречишкина Ю.И., Беловолова А.А., Воскобойников А.В., Подколзин А.И., Сычѳв В.Г., Куценко А.А., Громова Н.В., Ожередова, А.Ю., – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос.аграрного ун-та, 2019. – 45 с.

Методические указания составлены на основе ФГОС и учебного плана по направлению 35.03.04 – Агрономия профиль «Агрономия», «Защита растений», «Плодоовощеводство», по дисциплине: «Программирование урожаев сельскохозяйственных культур». Предназначены для студентов всех форм обучения.

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный  
аграрный университет, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	
<b>ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ</b>	<b>4</b>
1.Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов (4 часа)	6
2. Расчет возможной урожайности по тепловым ресурсам (2 часа)	11
3. Расчет возможных урожаев по величине биоклиматического потенциала (2 часа)	12
4. Прогнозирование урожайности по агрохимическим показателям почвы (4 часа)	13
5. Программирование урожайности полевых культур (4 часа)	16
6. Программирование урожая на основе математико-статистических методов (4 часа)	20
<b>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР»</b>	<b>24</b>
<b>ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ С ОЦЕНКОЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР»</b>	<b>26</b>
<b>РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>31</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b>	<b>33</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях акцентировано внимание на методиках расчета возможных урожаев по влагообеспеченности посевов, по тепловым ресурсам, по величине биоклиматического потенциала, по агрохимическим показателям почвы и на основе математико-статистических методов.

Процесс изучения дисциплины и разработанные на основе рабочей программы методические направлены на формирование знаний, умений, навыков, являющихся компонентами соответствующих профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

- способностью рассчитать дозы органических и минеральных удобрений на планируемый урожай, определить способ и технологию их внесения под сельскохозяйственные культуры (ПК-14);

- способностью использовать агрометеорологическую информацию при производстве растениеводческой продукции (ПК-18).

По окончании изучения дисциплины студент должен знать:

- почвы, их агрохимические характеристики, основы питания растений, способы и технологии внесения удобрений, виды и формы минеральных и органических удобрений, основы их рационального использования;

- функционально-аппаратные и программные средства, многоуровневую организацию информационных потоков, операционные среды и программные взаимодействия, эксплуатацию информационных технологий в агрономии, понятия о моделировании, классификацию моделей, этапы моделирования, модели посева, агрофитоценоза, методику проектирования современных технологий возделывания культур.

Уметь:

- обосновать и применять рациональную систему удобрений в севооборотах; проводить расчет доз органических и минеральных удобрений под планируемый урожай, использовать результаты в практической деятельности;

- формировать с использованием современных информационных технологий базу данных и ее интерпретировать, разрабатывать модели и

проекты агротехнологий на различную продуктивность сельскохозяйственных культур.

Владеть:

- навыками в составлении рациональной системы удобрений в севооборотах; организации выполнения намеченной системы удобрений; расчетах доз минеральных и органических удобрений;

- навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками сбора методов и средств решения задач исследования, приемами планирования, реализации необходимых видов деятельности; методами исследований в области сельского хозяйства.

Методические указания предназначены для использования при подготовке бакалавров по направлению 35.03.04 «Агрономия», профиль: «Агрономия», «Защита растений», «Плодоовощеводство», выполняющих практические занятия по дисциплине: «Программирование урожаев сельскохозяйственных культур» в соответствии с Государственным образовательным стандартом третьего поколения и программами бакалавриата.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

### 1. Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов (4 часа)

В условиях Юга России лимитирующим фактором в формировании урожайности сельскохозяйственных культур является влагообеспеченность растений. Уровень урожайности зависит не столько от суммы осадков за вегетационный период, сколько от распределения их по фазам роста и развития растений, а урожайность всех сельскохозяйственных культур в Ставропольском крае, в том числе и озимой пшеницы, сахарной свеклы, подсолнечника и других в большей мере зависит от погодных условий, чем от удобрений.

В неорошаемом земледелии, если погодные условия вегетационного периода сельскохозяйственных культур приближаются к среднемноголетним, данный метод расчета продуктивности посевов по влагообеспеченности позволяет получать урожайность, близкую к заданной. При орошении программированное возделывание сельскохозяйственных культур предполагает оптимальное оперативное регулирование комплекса факторов внешней среды с целью получения заданного урожая.

Сотрудниками кафедры агрохимии и физиологии растений разработана компьютерная программа «Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов» («ОВУПВП»). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2010613825 «Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов». Зарегистрировано 10 июня 2010 г. Предназначена для прогнозирования величины возможных урожаев сельскохозяйственных культур на основании выпавших осадков, распределения их по основным фазам вегетации, температурного режима и гидротермического коэффициента. Программа может применяться в учебном процессе высших учебных заведений, на производстве предприятий и АПК. Программа «Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов» («ОВУПВП») обеспечивает выполнение следующих функций: учебная; научно-исследовательская.

Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. Язык: Visual Basic. ОС: Windows XP, 98, 2000, Vista. Объем программы: 48 К(М)байт.

Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов

Урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га

Ресурсы продуктивной влаги перед посевом в 1,5 - 1,6м слое почвы, мм  ...

Количество осадков, выпадающих за вегетацию культуры, мм

Коэффициент влагопотребления (расход влаги на 1т сухого вещества), мм/т  ...

Результат

Урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га (с учетом прихода воды с оросительной нормой)

Ресурсы продуктивной влаги перед посевом в 1,5 - 1,6м слое почвы, мм  ...

Количество осадков, выпадающих за вегетацию культуры, мм

Приход воды с оросительной нормой, мм

Коэффициент влагопотребления (расход влаги на 1т сухого вещества), мм/т  ...

Результат

Потенциальная урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га

Урожайность культуры при стандартной влажности, т/га

Стандартная влажность основной продукции в общей массе урожая, %  ...

Сумма соотношений основной и побочной продукции  ...

Результат

**Цель работы.** На основании данных агроклиматических справочников и изучения таких погодных факторов, как выпадение осадков и распределение их по основным фазам вегетации возделываемых в данном хозяйстве ведущих культур, температурного режима, гидротермического коэффициента и так далее, прогнозируется величина урожая возделываемых в севообороте сельскохозяйственных культур на основе среднемноголетних данных.

**Материалы и оборудование:** калькуляторы, компьютеры, агроклиматические справочники по Ставропольскому краю, типичный для хозяйства севооборот.

**Ход работы:** реальная урожайность сельскохозяйственных культур зависит от влагообеспеченности. Условия увлажнения являются наиболее неустойчивой климатической характеристикой при выращивании сельскохозяйственных культур. В связи с этим, урожайность культур севооборота для почвенно-климатических зон Ставропольского края реальнее прогнозировать по влагообеспеченности:

$$Ус = \frac{W + (P \times 0,8)}{Kw},$$

где  $Ус$  – урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га;  $W$  – ресурсы продуктивной влаги перед посевом в 1,5 – 1,6 м слое почвы, мм;  $P$  – количество осадков, выпадающих за вегетацию культуры, мм; 0,8 – коэффициент активно используемых атмосферных осадков;  $Kw$  – коэффициент влагопотребления (расход влаги на 1 т сухого вещества), мм/т.  $Kw$  для ведущих культур приводится в приложении 1,  $W$  – приводится в приложении 2.

Поскольку ряд культур на Юге России возделывается в орошаемых условиях, формула расчета урожайности по влагообеспеченности приобретает следующий вид:

$$Ус = \frac{W + (P + Bп) \times 0,8}{Kw}, \text{ где}$$

$Bп$  – приход воды с оросительной нормой, мм.

От расчета урожайности абсолютно сухой органической массы переходим к расчету товарной части урожая:

$$У = \frac{100 \times Ус}{(100 - W) \times L}$$

где  $Ус$  – потенциальная урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га;  $У$  – урожайность культуры при стандартной влажности, т/га;  $W$  – стандартная влажность основной продукции в общей массе урожая.  $W$  – для ведущих культур приводится в приложении 2;  $L$  – сумма соотношений основной и побочной продукции (см. приложение 1).

Для выявления зависимости урожайности от погодных условий В.В. Агеевым математическому анализу подвергнуты многолетние урожайные, данные суммы осадков – за допосевной период, осенний период, от выхода в трубку до цветения и от цветения до уборки урожая, а также гидротермический коэффициент (ГТК) за эти периоды. Множественный корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности от переменных, обеспечивающих тесную корреляцию, позволил получить уравнения для прогноза урожайности зерна:

**1. Уравнение регрессии для урожайности озимой пшеницы после занятого пара:**

$$Y = 35,78 + 0,03X_2 + 0,15X_4$$

**2. Уравнение регрессии для урожайности озимой пшеницы после чёрного пара:**

$$Y = 34,62 + 0,26X_4 + 0,03X_5$$

**3. Уравнение для прогноза урожайности после гороха:**

$$Y = 20,21 + 0,15X_2 + 0,12X_4$$

**4. Уравнение для прогноза урожайности после кукурузы на силос:**

$$Y = 23,39 + 0,155X_2 + 0,106X_4$$

**5. Уравнение для прогноза урожайности озимой пшеницы после колосовых:**

$$Y = 20,56 + 0,62 X_2 + 0,25 X_4$$

где Y- урожайность, ц/га;

X<sub>2</sub> – осадки за допосевной период, мм;

X<sub>4</sub> – осадки за осенний период, мм;

X<sub>5</sub> – осадки за межфазный период весеннее кущение – колошение, мм.

**6. Уравнение регрессии для прогноза урожайности озимого ячменя после колосовых:**

$$Y = - 0,40X_1 + 2,46X_2 + 2,60X_4 - 3,35X_5 - 58,35$$

где Y- урожайность, ц/га;

X<sub>1</sub> – осадки за допосевной период, мм;

X<sub>2</sub> – осадки за осенний период, мм;

X<sub>4</sub> – осадки за межфазный период кущение-колошение, мм;

X<sub>5</sub> – осадки за межфазный период колошение-полная спелость, мм.

**7. Уравнение регрессии для прогноза урожайности гороха:**

$$Y = 12,45 + 0,08X_2 - 0,07X_3 + 2,4X_{10},$$

где Y – урожайность гороха, ц/га;

$X_2$  – осадки за допосевной период, мм;  
 $X_3$  – осадки от посева до цветения, мм;  
 $X_{10}$  – ГТК от цветения до уборки урожая.

**8. Уравнение для прогноза урожайности горохо-овсяной смеси:**

$$Y = - 33 + 0,61 X_1 + 1,25 X_3,$$

где  $Y$  – урожайность, ц/га;

$X_1$  – осадки от уборки предшественника до уборки урожая, мм;

$X_3$  – осадки от посева до уборки горохо-овсяной смеси, мм;

$X_4$  – осадки за осенний период, мм.

**9. Уравнение для прогноза урожайности маслосемян подсолнечника:**

$$Y = 33,01 + 0,08 X_3 - 0,05 X_5 - 18,8 X_7 + 3,3 X_{10},$$

где  $Y$  – урожайность маслосемян подсолнечника, ц/га;

$X_3$  – осадки от посева до уборки, мм;

$X_5$  – осадки от цветения до уборки урожая, мм;

$X_7$  – ГТК за допосевной период;

$X_{10}$  – ГТК от цветения до уборки урожая подсолнечника.

**10. Уравнение для прогноза урожайности кукурузы на силос:**

$$Y = 128,3 + 0,412 X_1 + 76,93 X_7$$

где  $Y$  – урожайность зеленой массы, ц/га;

$X_1$  - осадки от уборки предшественника до уборки кукурузы;

$X_7$  - ГТК за допосевной период.

**11. Уравнение регрессии для прогноза урожайности маслосемян ярового рапса после колосовых:**

$$Y = 13,53 - 0,03 X_2 + 0,04 X_4$$

где  $Y$  – урожайность маслосемян ярового рапса, ц/га;

$X_2$  - осадки от посева до начала цветения, мм;

$X_4$  – осадки от конца цветения до полной спелости, мм.

Среднемноголетние агроклиматические показатели, стандартная влажность основной продукции, соотношение основной и побочной

продукции, коэффициент водопотребления приведены в приложениях 1,3,5. Примерные сроки посева и уборки приводятся в приложении 4.

## 2. Расчет возможной урожайности по тепловым ресурсам (2 часа)

Тепло приходящее на посевы сельскохозяйственных растений понимается как фото синтетичная активная радиация и является одним из главных внешних факторов питания и существования растений. В условиях Юга России тепло, за редким исключением, не является лимитирующим фактором формирования урожайности сельскохозяйственных культур, но дает возможность определиться с максимально возможными урожаями и при устранении лимитирующих факторов, например, влагообеспеченность, кислотность, щелочность почвы и т.п., резко повысить урожайность, что и наблюдается

**Цель работы.** Научиться рассчитывать максимально возможную урожайность сельскохозяйственных культур по приходу фотосинтетической активной радиации.

Расчет урожайности по приходу фотосинтетической активной радиации вычисляется по формуле:

$$У_c = 10^9 \cdot Q \cdot K_Q : 100 \cdot q,$$

где  $У_c$  – урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га;

$Q$  – количество приходящей ФАР за период вегетации, кДж/га;

$q$  – удельное количество энергии, аккумулируемой единицей сухого вещества ( $q = 20 \cdot 10^6$  кДж/т);

$K_Q$  – коэффициент использования ФАР посевом ( $K_Q = 1 - 3$  %, теоретически и в условиях непрерывного использования пашни возможно 5 – 10 %). На разных географических широтах приход ФАР (млрд. кДж/га) составляет: 30 – 40° - 20 – 13,6; 40 - 50 - 13,5 – 9; 50 - 60° - 10,7 – 7,5; 60 - 70° - 9 – 5.

От расчета урожайности абсолютно сухой органической массы переходим к расчету товарной части урожая:

$$У = 100 \times У_c : (100 - W) \cdot L = 100 \cdot Q \cdot K_Q : 100 \cdot g \cdot (100 - W) \cdot L \\ = 100 \cdot 12,2 \cdot 10^9 \cdot 9,5 : [100 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot (100 - 14) \cdot 1,5] = 81,3 \text{ т/га.}$$

Для расчета урожайности товарной продукции всех сельскохозяйственных культур используют соотношение:

$$Y = 100 \cdot Y_c : (100 - W) \cdot L = 100 \cdot Q \cdot K_Q : [(100 \cdot g \cdot (100 - W) \cdot L)].$$

### **3. Расчет возможных урожаев по величине биоклиматического потенциала (2 часа)**

Климатические данные необходимо использовать для решения задач программирования урожаев сельскохозяйственных культур и внесения корректив в технологии их возделывания.

**Цель работы.** С помощью показателей биоклиматического потенциала обосновать продуктивность посевов. Прогнозировать условия вегетационного периода культур по лимитирующему и оптимальному фактору формирования урожайности не всегда корректно, поскольку только одновременное взаимодействие множества факторов позволяет достаточно объективно оценить уровень возможной продуктивности растений. Таким интегрированным показателям может служить биоклиматический потенциал.

**Ход работы.** В предположении, что основным лимитирующим фактором являются тепловые ресурсы, действительно возможный урожай может быть определен по формуле:

$$Y = \beta \times \text{БКП}$$

где:  $Y$  – урожай в кормовых единицах (ц/га);

БКП – биоклиматический потенциал продуктивности;

$$\text{БКП} = [\sum t^{\circ} \geq 10^{\circ}] : 1000$$

где  $\beta$  – коэффициент, определяемый опытным путем и зависящий от культуры земледелия и фактического коэффициента использования ФАР посевом.

Величина БКП представляет собой сумму температур выше  $10^{\circ}$  за вегетационный период, деленную на 1000. (Например, если указанная сумма составит  $2200^{\circ}$ , то  $\text{БКП} = 2,2$ ).

Ориентировочные значения коэффициента  $\beta$  приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Ориентировочные значения коэффициента  $\beta$  в зависимости от  $K_Q$

$K_Q$	1,0	2,0	3,0
$\beta$	10	20	30

Приведем пример расчета действительно возможного урожая по БКП:

$\Sigma t^{0>10^0}$  составляет 2400<sup>0</sup>. Потенциально могут аккумулировать около 2,5% солнечной энергии. При этом в соответствии с формулой получим, что урожай, обеспечиваемый имеющимся количеством тепла, может достигать величины  $Y = 25 \times 2,4 = 60$  ц/га. Проведя расчеты действительно возможных урожаев в зависимости от величины  $K_Q$ ,  $\beta$  выберите среди них наименьшую цифру, которая и будет представлять собой урожайность, теоретически достижимая в рассматриваемом районе на фоне действия характеризующих данный регион климатических факторов. Однако, такой урожай может быть получен лишь при высоком уровне плодородия.

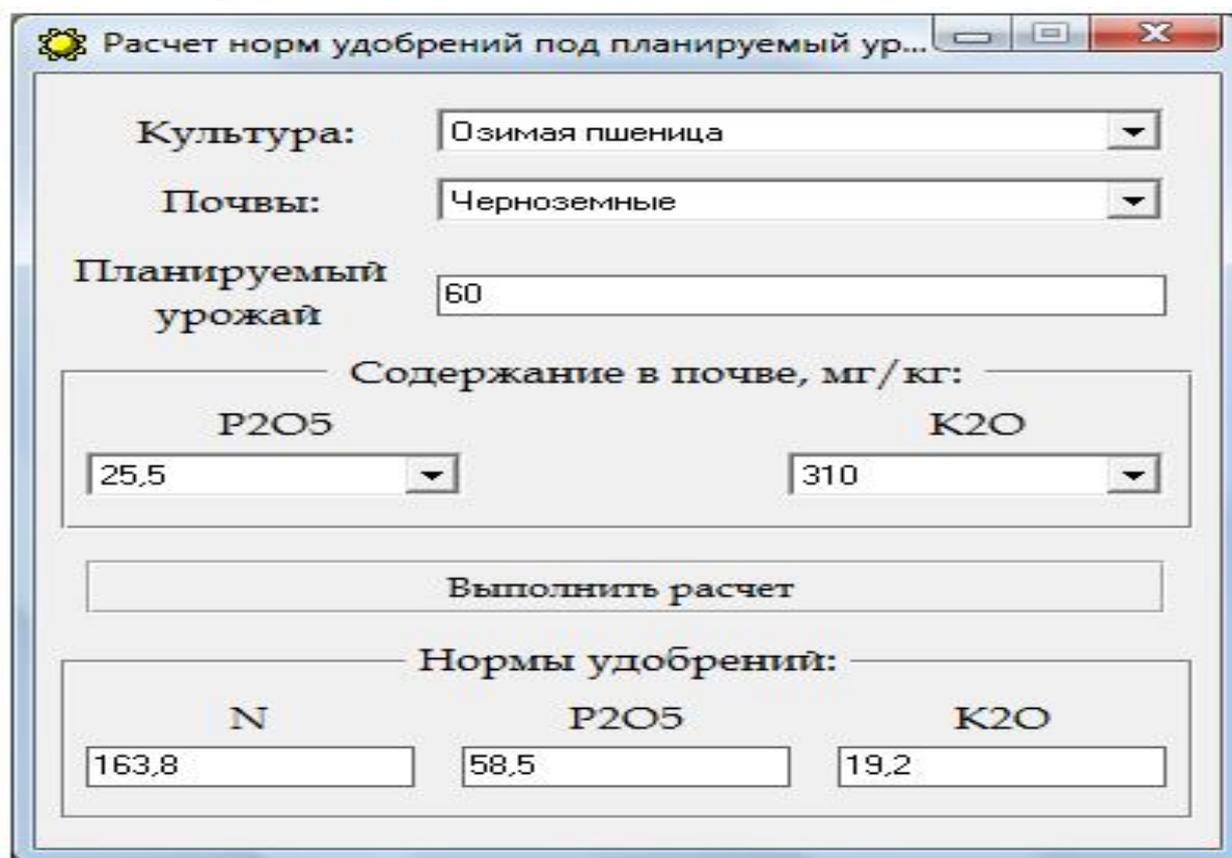
#### **4. Прогнозирование урожайности по агрохимическим показателям почвы (4 часа)**

Агрохимическая основа получения прогнозируемого урожая заключается в обеспечении оптимальных условий минерального питания растений. Это значит, что необходимо создать оптимальную концентрацию питательных веществ в почве в течение вегетации культур в целях достижения максимально возможной продуктивности.

К важнейшим условиям программирования и достижения заданного уровня урожайности относятся: расчет и обоснование оптимальных доз удобрений, удовлетворение потребностей растений в питательных веществах при сохранении и дальнейшем повышении эффективного плодородия почв.

Удобрения – это источник пищи для растений и основной путь расширенного воспроизводства плодородия почвы, материальная основа количества и качества урожая. Высококачественную продукцию, сбалансированную по содержанию ценных для человека органических веществ, можно получить только путем оптимального питания растений за счет применения удобрений. Коллективом кафедры агрохимии и

физиологии растений ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет разработана компьютерная программа «Расчет норм удобрений на планируемый уровень продуктивности сельскохозяйственных культур» («РНУНПУПСК»), которая предназначена для определения потребности в удобрениях на планируемый уровень возможной продуктивности сельскохозяйственных культур с учетом обеспеченности почв азотом, фосфором и калием, коэффициентов компенсации этих элементов за счет удобрений, а также доли эродированных почв. Программа может применяться в учебном процессе высших учебных заведений, на производстве предприятиями АПК и обеспечивает выполнение следующих функций: учебная; научно-исследовательская.



Содержание в почве, мг/кг:		
P2O5	K2O	
25.5	310	

Нормы удобрений:		
N	P2O5	K2O
163.8	58.5	19.2

Тип ЭВМ: IBM PC-совмест.ПК. Язык: Visual Basic, ОС: Windows XP, 98, 2000, Vista. Объем программы: 36 К(М) байт.

**Цель работы:** Рассчитать выносы элементов питания в конкретных почвенно-климатических условиях и получить на этом основании коэффициенты выноса, употребляемые для расчета норм удобрений под программируемый урожай.

**Ход работы.** Определение оптимальных норм удобрений под запланированную урожайность является сложным вопросом

современной агрохимической науки и практики. Все методы определения норм удобрений (а их около 60) сводятся в три группы: по непосредственным результатам полевых опытов, расчетно-балансовые методы, математические методы с применением ЭВМ.

В основу всех расчетных методов положены данные по выносу питательных веществ урожаями и коэффициенты использования элементов питания из почвы и удобрений, а также данные по окупаемости удобрений урожаем.

Приведенные сведения по нормам удобрений в настоящее время нуждаются в уточнении расчетными методами, исходя из почвенного плодородия, уровня планируемой урожайности и финансовых возможностей хозяйства. Получение программируемой урожайности достигается на основе удовлетворения потребности растений в элементах питания по выносу планируемым урожаем за счет использования почвенных запасов, а недостаток восполняется применением удобрений. Вынос питательных веществ рассчитывается путем перемножения коэффициентов выноса элементов питания с товарной и побочной продукцией (приложение 6) на планируемую урожайность, найденную по влагообеспеченности посевов. Расчеты производятся для всех культур севооборота и приводятся в форме таблицы 2.

**Таблица 2 - Вынос элементов питания планируемым урожаем сельскохозяйственных культур**

№ поле й	Чередование культур в севообороте	Планируемая урожайность, ц/га	Вынос элементов питания, кг/га		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1.	Пар черный				
2.	Озимая пшеница				
3.	Сахарная свекла и т. д.				
4.					
5.					
6.					

В связи с выше изложенными методическими подходами расчет норм удобрений под планируемый урожай проводится по формуле, предложенной В.В. Агеевым:

$$N_y = (B_y - B_y \times K_n) : K_{ny} \cdot 100,$$

где  $N_y$  – норма  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , кг/га;

$B_y$  – вынос  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  с планиваемым урожаем, кг/га;

$K_n$  – коэффициент использования  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  из почвы от выноса с урожаем (приложение 7, 8);

$K_{ny}$  – коэффициент использования питательных веществ из удобрений, % (приложение 9).

Нормы  $N$  удобрений рассчитываются по преобразованной формуле:

$$N_y = (B_y - (B_y \times K_n(\text{фосфора}) \times K)) : K_{ny} \times 100,$$

где  $K$  – вынос  $N$  с планиваемым урожаем : вынос  $P_2O_5$  с планиваемым урожаем ( $\frac{N}{P_2O_5}$ ).

## 5. Программирование урожайности полевых культур (4 часа)

Стабильному росту урожайности сельскохозяйственных культур, более эффективному использованию материальных, трудовых ресурсов и почвенно-климатических условий способствует применение интенсивных технологий, базирующихся на гармоническом удовлетворении потребности растений жизненно необходимыми и незаменимыми факторами внешней среды.

**Цель работы.** Перейти к широкому использованию в агрономии количественных моделей и электронно-вычислительной техники, позволяющей быстро обработать большую информацию о факторах, влияющих на рост растений, и наметить оптимальный вариант агротехнических мероприятий, направленных на получение запрограммированных урожаев.

**Приборы, справочные материалы.** При программировании урожайности сельскохозяйственных культур необходимо иметь соответствующие математические модели, надежные машинные программы для ЭВМ, заданные режимы технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

**Таблица 3 - Расчетная урожайность сельскохозяйственных культур, т/га**

Показатели	Потенциальная урожайность (ПУ) по приходу ФАР	Действительно возможная урожайность (ДВУ) по: по влагообеспеченности	в урожайность производстве (УП)	Программируемая урожайность	Биологическая урожайность абсолютно сухой массы		
					Урожайность при стандартной влажности	Основной продукции	Побочной продукцией

### **5.1 Определение потенциальной урожайности по приходу фотосинтетически активной радиации**

При расчете потенциальной урожайности по приходу фотосинтетически активной радиации пользуются формулой А.А. Ничипоровича:

$$У_{\text{биол}} = \frac{\Sigma q_{\text{ФАР}} \times K}{g \times 10^5}$$

где  $У_{\text{биол}}$  – биологическая урожайность абсолютно сухой растительной массы, т/га;

$\Sigma Q_{\text{ФАР}}$  – количество приходящей ФАР за период вегетации культуры в заданной зоне, млрд.ккал/га (приложение 10);

$K$  – запланированный коэффициент использования ФАР, %; (4,5-5%);

$g$  – количество энергии, выделяемое при сжигании 1 кг сухого вещества биомассы, ккал/кг; (4000 ккал энергии);

$10^5$  – для перевода в т.

### **5.2. Определение действительно возможной урожайности (ДВУ) по влагообеспеченности по Агееву В.В., Подколзину А.И. (2001)**

Уровень урожаев и намеченный комплекс агротехнических мероприятий для их достижения в значительной мере зависят от влагообеспеченности посевов и использования ими влаги в течение вегетационного периода.

Действительно возможную урожайность определяют по формуле:

$$ДВУ = \frac{10 (W + P)}{K_B}$$

где ДВУ – действительно возможная урожайность, т/га;

$W$  – запас продуктивной влаги в 1,5 – 1,6м слое почвы перед посевом яровых культур или возобновление вегетации озимых, мм;

$P$  – сумма осадков за вегетационный период культуры, мм;

$K_B$  – коэффициент водопотребления, м<sup>3</sup>/т.

Среднюю урожайность культуры в производстве (СП) определяют за 3-5 лет, используя статистические данные годовых отчетов хозяйства.

## **Расчет программируемой урожайности полевых культур**

### **5.3. Озимая пшеница, озимый ячмень**

Для выявления зависимости урожайности от полевых условий математическому анализу подвергнуты многолетние урожайные данные в связи с внешними факторами формирования продуктивности

1. Уравнение регрессии для прогноза урожайности озимой пшеницы после занятого пара:

$$Y = 35,87 + 0,03X_2 + 0,15X_4$$

2. Уравнение регрессии для прогноза урожайности озимой пшеницы после черного пара:

$$Y = 34,62 + 0,26X_4 + 0,03X_5$$

3. Уравнение для прогноза урожайности после гороха:

$$Y = 28,56 + 0,15 X_2 + 0,12X_4$$

4. Уравнение прогноза урожайности озимой пшеницы после кукурузы на силос:

$$Y = 23,39 + 0,155X_2 + 0,106X_4$$

5. Уравнение для прогноза урожайности озимой пшеницы после колосовых:

$$Y = 20,56 + 0,62X_2 + 0,25X_4$$

где  $Y$  – урожайность, ц/га;

$X_1$  - осадки за допосевной период, мм;

$X_2$  – осадки за осенний период, мм;

$X_4$  – осадки за межфазный период кущение-колошение, мм;

$X_5$  - осадки за межфазный период колошение – полная спелость, мм;

### **5.4. Зернобобовые культуры**

1. Уравнение регрессии для прогноза урожайности гороха:

$$Y = 12,45 + 0,08X_2 - 0,07X_3 + 2,4X_{10}$$

где  $Y$  – урожайность гороха, ц/га;

$X_2$  – осадки за допосевной период, мм;

$X_3$  – осадки от посева до цветения, мм

$X_{10}$  – ГТК от цветения до уборки урожая;

1. Уравнение регрессии для прогноза урожайности горохо-овсяной смеси:

$$Y = -33 + 0,61X_1 + 1,25X_3$$

где  $Y$  – урожайность, ц/га;

$X_1$  – осадки от уборки предшественника до уборки урожая, мм;

$X_3$  – осадки от посева до уборки горохо-овсяной смеси, мм;

### 5.5. Кукуруза

Уравнение регрессии для прогноза урожая зеленой массы кукурузы:

$$Y = 128,3 + 0,412X_1 + 76,93X_7$$

где  $Y$  – урожайность зеленой массы, ц/га;

$X_1$  – осадки от уборки предшественника до уборки кукурузы, мм;

$X_7$  – ГТК за допосевной период;

### 5.6. Подсолнечник

Уравнение регрессии для прогноза урожайности маслосемян подсолнечника:

$$Y = 33,01 + 0,08X_3 - 0,05X_5 - 18,8X_7 + 3,3X_{10}$$

где  $Y$  – урожайность маслосемян подсолнечника, ц/га;

$X_3$  – осадки от посева до уборки, мм;

$X_5$  – осадки от цветения до уборки урожая, мм;

$X_7$  – ГТК за допосевной период;

$X_{10}$  – ГТК от цветения до уборки урожая подсолнечника.

### 5.7. Яровой рапс

Уравнение регрессии для прогноза урожайности маслосемян ярового рапса после колосовых:

$$Y = 13,53 - 0,03X_2 + 0,04X_4$$

где  $Y$  – урожайность маслосемян ярового рапса, ц/га;

$X_2$  – осадки от посева до начала цветения, мм;

$X_4$  – осадки от конца цветения до полной спелости, мм;

### 5.8. Сахарная свекла и другие сельскохозяйственные культуры

Уравнение регрессии для прогноза урожайности корнеплодов сахарной свеклы:

$$Y_c = \frac{W + (P \times 0,8)}{K},$$

где  $Y_c$  – урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га;

$W$  – ресурсы продуктивной влаги в 1,5-1,6 м слое почвы, мм;

$P$  – сумма осадков за вегетационный период, мм;

0,8 – коэффициент активно используемых атмосферных осадков;

К – коэффициент водопотребления (расход влаги на 1т сухого вещества), мм.

## **6. Программирование урожая на основе математико-статистических методов (4 часа)**

На современном этапе развития общества во всех отраслях и сферах, связанных с агропромышленным комплексом, широко применяются программы, которые основаны на экономико-математических методах. ЭММ предлагают построение соответствующих моделей (урожая, продуктивности, продукционного процесса фотосинтеза, минерального питания и др.) с последующей реализацией их на ЭВМ.

**Цель работы.** Студент должен на основе соответствующих экспериментальных данных определить оптимальный вариант, применение которого обеспечит получение программируемой урожайности различных культур. При помощи обработки данных на ЭВМ, раскрыть закономерности формирования урожайности сельскохозяйственных культур при различных условиях произрастания, выявить роль отдельных факторов и их сочетаний при программировании урожая, а также определить возможную урожайность различных культур в данной почвенно-климатической зоне.

**Материалы и оборудование.** Калькуляторы, ЭВМ, элементы структуры формирования урожая различных культур, данные урожайности сельскохозяйственных культур в хозяйстве или районе за последние 8-10 лет.

**Ход работы.** Абсолютное большинство действующих агроприемов с достаточной точностью может быть описано в рамках линейных программ. При использовании регрессионного анализа проводятся исследования влияния различных факторов на урожайность культуры. Урожайность в этом случае рассматривается как искомая регрессивная зависимость от нескольких переменных (факторов):

$$Y = B(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Общий вид уравнения регрессии, которое может рассматриваться как математическая модель урожайности, представлен формулой:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n,$$

где  $Y$  – урожайность, ц/га;

$B_0$  – свободный член уравнения, ц/га;

$B_1; B_2; B_n$ ; - коэффициенты регрессии, соответствующие независимым переменным (факторам урожая),  $X_1, X_2, X_n$ , ц/га.

Данные опыта, структуры урожая различных культур вводятся в матрицу (табл. 4) и в компьютер. В результате решения задачи, построенной по данным этого опыта, будет получено уравнение для прогноза урожайности культуры в зависимости от изучаемых факторов.

Норматив урожайности основной и побочной продукции по культурам необходимо определять по каждому полю севооборота, исходя из фактически достигнутого уровня урожайности за полную ротацию севооборота и среднегодового прироста за тот же срок. Кроме того необходимо учитывать технологию производства, а также качество семенного материала, обеспеченность подразделения удобрениями, гербицидами и другими производственными ресурсами.

**Таблица 4 - Матрица данных для вычисления корреляции и регрессии**

Вариант	Элементы структуры урожая					Урожайность, У
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	
1.						
2.						
3.						
4.						
и т.д.						

Для определения тенденций изменения урожайности по культурам и полям севооборота можно использовать статистико-экономический метод аналитического выравнивания динамического ряда по прямой:

$$Y = a + vx,$$

где  $Y$  – изменение урожайности, ц/га

$a$  – исходный уровень урожайности, ц;

$v$  – среднегодовой прирост урожайности, ц;

$x$  – порядковый номер года.

**Параметры прямой определяют по формулам:**

$$a = \frac{\sum y \cdot \sum x^2 - \sum xy \cdot \sum x}{\sum x^2 - \sum x^2}$$

$$K \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2$$

$$b = \frac{K \cdot \Sigma xy - \Sigma y \cdot \Sigma x}{K \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

K- количество лет

Для примера рассмотрим проектирование урожайности озимой пшеницы на 2002 год в девятипольном севообороте (табл. 5):

**Таблица 5 - Расчет необходимых параметров «а» и «в» для озимой пшеницы**

Годы	Порядок нумерации года, X	Фактическая урожайность, с 1 ц /га, Y	Выравнивание величины		Выравненность урожайности с 1 га. ц, Y
			X Y	X <sup>2</sup>	
1993	1	19,1	19,1	1	15,953
1994	2	21,1	42,2	4	18,448
1995	3	14,3	42,9	9	20,943
1996	4	26,0	104,0	16	23,438
1997	5	21,2	106,0	25	25,933
1998	6	27,6	165,6	36	28,426
1999	7	31,4	219,8	49	30,923
2000	8	37,2	297,6	64	33,418
2001	9	35,5	319,5	81	35,913
Суммы	$\Sigma x = 45$	$\Sigma y = 233,4$	$\Sigma xy = 1316,7$	$\Sigma x^2 = 285$	$\Sigma y = 233,397$

**Примечание:** последняя графа таблицы заполняется после определения параметров «а» и «в».

**Определяем исходный уровень урожайности:**

$$a = \frac{233,4 \cdot 285 - 1316,7 \cdot 45}{9 \cdot 285 - 45 \cdot 45} = 13,458$$

**Определяем среднегодовой прирост (или снижение) урожайности:**

$$x = \frac{9 \cdot 1316,7 - 233,4 \cdot 45}{9 \cdot 285 - 45 \cdot 45} = 2,495$$

Для проверки правильности расчетов определяем выровненную урожайность по формуле (1).

$$Y(1993) = 13,458 + 2,495 \cdot 1 = 15,953$$

$$Y(1994) = 13,458 + 2,495 \cdot 2 = 18,448 \text{ и т.д.}$$

Если расчет проведен правильно, то сумма фактической урожайности равна сумме выровненной с учетом округления.

Расчетная урожайность на 2002 год составит:

$$Y(2002) = 13,458 + 2,495 \times 10 = 38,41 \text{ ц/га}$$

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР»**

1. Основные задачи МПУ.
2. История развития науки «Программирование урожаев».
3. Предпосылки для создания МПУ.
4. Принципы программирования урожаев культур.
5. Планирование, прогнозирование и программирование урожаев сельскохозяйственных культур.
6. Методы программирования урожая сельскохозяйственных культур.
7. Уровень урожайности при программировании.
8. Основы программирования урожаев.
9. Комплекс метеорологических факторов, определяющих состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур.
10. Вероятность неблагоприятных явлений в районах интенсивного земледелия и учет их при программировании урожая.
11. Фотосинтетически активная радиация (ФАР), её роль в формировании урожая.
12. Методы расчета и обеспеченность ФАР основных сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей.
13. Определение урожайности по фотосинтетическому потенциалу листьев.
14. Использование прогнозов погоды для программирования урожаев и корректировки программы в процессе её осуществления.
15. Моделирование плодородия почвы.
16. Определение понятия плодородия почвы и количественная оценка уровня почвенного плодородия.
17. Оценка плодородия при использовании шкалы бонитировки почв.
18. Моделирование содержания гумуса в почве.
19. Моделирование содержания подвижных питательных веществ в почве.

20. Агротехнические условия получения планируемой урожайности.
21. Технологические основы программирования урожая.
22. Организационно-технические мероприятия, способствующие получению программируемой урожайности.
23. Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов.
24. Определение возможных урожаев по тепловым ресурсам.
25. Расчет возможных урожаев по величине биоклиматического потенциала.
26. Прогнозирование урожайности по агрохимическим показателям почвы.
27. Прогнозирование урожайности по агрохимическим показателям почвы.
28. Программирование урожайности полевых культур.
29. Расчет программируемой урожайности полевых культур.
30. Программирование урожаев на основе математико-статистических методов.

## **ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ С ОЦЕНКОЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР»**

1. Программирование урожаев – предмет, методы ее исследований, краткая история развития.
2. Программирование урожаев как метод комплексного подхода в реализации достижений сельскохозяйственных наук для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.
3. Учет основных законов земледелия и растениеводства при программировании урожаев.
4. Содержание понятий планирования, прогнозирования и программирование урожая.
5. Программирование урожайности ведущих в зоне сельскохозяйственных культур в системе севообороте и общей продуктивности севооборота.
6. Программирование урожаев озимой пшеницы
7. Программирование урожаев озимого ячменя
8. Программирование урожаев ярового ячменя
9. Программирование урожаев овса
10. Программирование урожаев кукурузы на зерно
11. Программирование урожаев кукурузы на силос
12. Программирование урожаев проса
13. Программирование урожаев гречихи
14. Программирование урожаев сорго
15. Программирование урожаев гороха
16. Программирование урожаев горохо – овсяной смеси
17. Программирование урожаев сахарной свеклы
18. Программирование урожаев картофеля
19. Программирование урожаев подсолнечника
20. Программирование урожаев озимого рапса
21. Составление технологических карт индустриальной технологии сельскохозяйственных культур – организующая структура программирования их урожайности
22. Представление о теоретически возможном урожае, обеспечиваемом климатическими, почвенными и материально-

техническими ресурсами (мелиоративное воздействие, севооборот, сорта, удобрения, гербициды, ядохимикаты, техническая обеспеченность).

23. Понятие о потенциальной, действительно возможной и производственной урожайности.

24. Долгосрочные, текущие и оперативные задачи планирования.

25. Методы программирования урожая сельскохозяйственных культур.

26. Методы, основанные на использовании обобщенных агроклиматических (ресурсы света, тепла, влаги) и почвенных показателей.

27. Физиологические аспекты формирования программирования урожая сельскохозяйственных культур.

28. Пути создания высокопродуктивных посевов (фотосинтетический потенциал посева, его формирование, чистая продуктивность фотосинтеза, световой режим посева, КПД использования ФАР) для заданного уровня урожая.

29. Агрометеорологические, агрохимические, агрофизические, агротехнические основы программирования урожая на обычных и мелиорируемых землях различного плодородия.

30. Организация проведения комплексных исследований по программированию урожая.

31. Комплекс метеорологических факторов, определяющих состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур.

32. Фотосинтетическая активная радиация (ФАР), ее роль в формировании урожая.

33. Методы расчета и обеспеченности ФАР основных сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей.

34. Температурный режим воздуха и почвы, оценка их влияния на величину и качество урожая сельскохозяйственных культур.

35. Ресурсы тепла и обеспеченности им основных сельскохозяйственных культур по природно-климатическим зонам.

36. Вероятность неблагоприятных явлений в районах интенсивного земледелия и учет их при программировании урожая.

37. Использование прогнозов погоды для программирования урожая и корректировки программы в процессе ее осуществления.

38. Агрехимические основы программирования урожаев.
39. Научно- обоснованная система применения удобрений – значение, задачи, принципы построения.
40. Выбор метода определения норм удобрений для программирования урожаев сельскохозяйственных культур.
41. Комплексные методы листовой и почвенной диагностики (программа коррекции). Зональные нормативы листовой и почвенной диагностики.
42. Разработка научно-обоснованных систем применения удобрений в севооборотах для получения программированных урожаев сельскохозяйственных культур.
43. Определение места и норм внесения органических удобрений в севооборотах.
44. Требования к балансу питательных элементов в севооборотах в зависимости от типа и плодородия почв.
45. Балансовые и другие методы расчета норм минеральных удобрений в севообороте при высокой и ограниченной обеспеченности посевов минеральными удобрениями.
46. Пути повышения эффективности удобрений при программировании урожаев (локальное и дробное внесение макроудобрений, применение микроудобрений и др.).
47. Использование карт засоренности полей севооборотов для разработки рациональной системы мероприятий по профилактике и борьбе с сорняками в посевах (агротехнические, химические и биологические методы).
48. Использование прогнозов службы защиты растений для разработки интегрированной системы мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур.
49. Комплексное и оптимальное применение удобрений и пестицидов – необходимое условие индустриальной технологии и охраны окружающей среды.
50. Фотосинтетическая деятельности и продуктивность посевов.
51. Использование показателей роста растений при программировании урожаев.

52. Учет формирования элементов продуктивности урожая на разных фазах (этапах) органогенеза, роста и развития растений. Использование полученной информации при уходе за посевами.

53. Роль сорта при программировании урожаяев.

54. Выбор сортов, соответствующих почвенно-климатическим условиям зоны, устойчивых к комплексу неблагоприятных условий (засухоустойчивость, холодоустойчивость, морозоустойчивость, устойчивость к болезням и вредителям, устойчивость к полеганию).

55. Выбор оптимальной густоты стояния растений в посевах с учетом полевой всхожести семян, выпада растений в течение вегетационного периода, способа посева, обеспечивающего аккумуляцию заданного уровня солнечной энергии, формирование хозяйственно полезной части урожая.

56. планирование мероприятий по уходу за посевами и корректировка их по результатам контроля фактического хода формирования урожая (боронование, культивации, подкормки, орошение и др.).

57. Использование агротехнических приемов в период вегетации, повышающих качество сельскохозяйственной продукции (внекорневые подкормки, ретарданты, десиканты, дефолианты).

58. Выбор оптимальных сроков и способов уборки как необходимое условие сохранения качества и предотвращения потерь урожая.

59. Оптимизация условий вводно-воздушного режима почвы при программировании урожаяев.

60. Определение необходимости орошения или осушения, основных параметров оптимизации водного и воздушного режимов почвы для разных уровней урожайности.

61. Определение оросительных и поливных норм для оптимизации водного режима почвы на получение запланированных урожаяев с учетом имеющихся ресурсов воды, применения удобрений и других факторов.

62. Составление прогностической, корректирующей и оперативно-текущей программ управления водным режимом почвы.

63. Особенности оптимизации и управления водным и воздушным режимами почвы на осушительно-увлажнительных системах.

64. Разработка оптимальной системы обработки почвы для получения программированного урожая (приемы по накоплению и сохранению влаги, созданию оптимальной плотности почвы).

65. Математико-статистические методы программирования (регрессионные модели количественных связей урожая с факторами, обеспечивающими его).

66. Динамические имитационные модели формирования урожая, использующие системы дифференциальных уравнений для комплексной оценки роста и развития растений, формирования урожая.

67. Методы, основанные на применении автоматизированной системы управления технологическими процессами в земледелии.

68. Математико-статистические методы программирования (регрессионные модели количественных связей урожая с факторами, обеспечивающими его)

69. Динамические имитационные модели формирования урожая.

70. Методы, основанные на применении автоматизированной системы управления технологическими процессами в земледелии.

71. Агрэкологические функции урожайности сельскохозяйственных культур

72. Экономико-математические модели формирования урожаев

73. Моделирование динамики накопления биомассы и хозяйственно полезной продукции при программировании урожая

74. Индустриальные технологии – организационная форма реализации программирования урожая

75. Автоматизация разработки индустриальных технологий на ЭВМ

76. Автоматизированная система управления технологическими процессами в земледелии.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### **а) основная литература:**

1. ЭБ "Труды ученых СтГАУ": Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур [электронный полный текст] : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110400 - Агрономия / Агеев В. В., Есаулко А. Н., Лобанкова О. Ю., Радченко В. И., Горбатко Л. С., Гречишкина Ю. И., Коростылев С. А., Сигида М. С., Фурсова А. Ю., Устименко Е. А., Воскобойников А. В., Громова Н. В., Голосной Е. В., Беловолова А. А. ; СтГАУ. - 5-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь : АГРУС, 2014. - 1,02 МБ. - (Гр. УМО).

2. ЭБ «Труды ученых СтГАУ»: Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур [электронный полный текст] : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110400 - Агрономия / В. Г. Агеев, А. Н. Есаулко, О. Ю. Лобанкова, В. И. Радченко, Л. С. Горбатко, Ю. И. Гречишкина, С. А. Коростылев, М. С. Сигида, Н. В. Громова, Е. В. Голосной, А. А. Беловолова ; СтГАУ. - 4-е изд., перераб. и доп. - Ставро-поль : АГРУС, 2011. - 1,04 МБ. - (Гр. УМО).

3. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110400 - Агрономия / В. Г. Агеев [и др.] ; СтГАУ. - 5-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь : АГРУС, 2014. - 200 с. - (Гр. УМО).

4. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110400 - Агрономия / В. Г. Агеев [и др.] ; СтГАУ. - 4-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь : АГРУС, 2011. - 200 с. - (Гр. УМО).

### **б) дополнительная литература:**

1. ЭБС «Znanium»: Журина Л. Л. Агрометеорология: Учебник / Л.Л. Журина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 384 с.

2. Практикум по агрохимии : Учеб.пособие для вузов / Под ред.В.Г.Минеева. - 2-е изд.,перераб.,доп. - М. : МГУ, 2001. - 689с.

3. Агеев, В. В. Агрохимия (Южно-Российский аспект) : учебник для студентов вузов по агр. специальностям. Т. 1 : Питание растений. Свойства почвы в связи с питанием растений и применением удобрений

/ под ред. В. В. Агеева. - Ставрополь : СтГАУ, 2005. - 488 с. : ил. - (Гр. МСХ РФ).

4. Агеев, В. В. Агрохимия (Южно-Российский аспект) : учебник для студентов вузов по агроном. специальностям. Т. 2 : Удобрения. Системы удобрения. Экология / под ред. В. В. Агеева. - Ставрополь : СтГАУ, 2006. - 480 с. : ил. - (Гр. МСХ РФ).

5. Лабораторный практикум по агрохимии для агрономических специальностей : учеб. пособие / А. Н. Есаулко [и др.] ; СтГАУ. - 3-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь : АГРУС, 2010. - 276 с. - (Гр. МСХ РФ).

6. Особенности питания и удобрение сельскохозяйственных культур на юге России : учеб. пособие для студентов вузов агроном. специальностей / под ред. В. В. Агеева. - Ставрополь : ГСХА, 1999. - 113 с.

7. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур : учеб. пособие для студентов вузов по агроном. специальностям / В. В. Агеев [и др.]. - 3-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь : СтГАУ, 2008. - 168с. - (Гр. УМО).

8. Агрохимия (периодическое издание).

9. Агрохимический вестник (периодическое издание).

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

**Приложение 1 – Исходные данные для расчета программируемой урожайности сельскохозяйственных культур по влагообеспеченности**

Культура		Коэффициент водопотребления, мм/т	Стандартная влажность основной продукции, %	Соотношение основной и побочной продукции
Озимая пшеница		400 – 500	14	1:1,5
Озимая рожь		340 – 420	14	1:2
Озимый ячмень		440 - 500	14	1:1,5
Яровая пшеница		400 – 415	14	1:1
Яровой ячмень		400	14	1:1
Овес		474	14	1:1,3
Кукуруза на зерно		174 – 406	15	1:2,0
Кукуруза на силос		30 - 40	70	-
Просо		200 – 250	13	1:1,1
Сорго		200	14	1:2
Рис		500 – 800	15	1:1,5
Гречиха		500 – 600	14	1:1,2
Горох		450-500	16	1:1,3
Соя		600-800	12	1:1,3
Сахарная свекла		240 – 400	80	1:0,8
Картофель		400 – 550	80	1:1
Люцерна	Сено	400 – 500	14 – 16	-
	Зеленая масса		70 - 75	-
Эспарцет	Сено	300 – 400	14 – 16	-
	Зеленая масса		70 - 75	-
Подсолнечник		450 – 570	9	1:5
Горчица		500 – 520	9	1:4
Рапс		400 - 450	9	1:3
Хлопчатник		500 – 600	12	
Лен		400 - 430	13	1:5

**Приложение 2 - Запасы продуктивной влаги (мм) в 1,5 метровом слое почвы (мм)**

Зона, район	Преобладающий тип (подтип)почвы	Перед посевом культур		
		озимых	ранних яровых	поздних яровых
1				
Апанасенковский	Каштановые	110	160	136
Арзгирский	Каштановые	78	146	124
Левокумский	Светло-каштановые	68	130	118
Нефтекумский	Светло-каштановые	60	120	110
Туркменский	Каштановые солонцеватые	76	150	
2				
Александровский	Чернозем южный	82	165	130
Благодарненский	Каштановые	72	150	
Буденовский	Каштановые	74	145	120
Ипатовский	Темно-каштановые	77	175	148
Курский	Темно-каштановые	84	180	152
Новоселецкий	Темно-каштановые	96	170	142
Петровский	Темно-каштановые	94	154	134
Советский	Темно-каштановые	110	176	150
Степновский	Темно-каштановые	90	168	140
3				
Изобильненский	Чернозем обыкновенный	128	240	220
Грачевский	Чернозем обыкновенный	180	260	218
Кочубеевский	Чернозем обыкновенный	210	282	236
Красногвардейский	Чернозем южный	165	250	210
Андроповский	Черноземы солонцеватые	75	165	184
Новоалександровский	Чернозем обыкновенный	170	275	244
Труновский	Чернозем обыкновенный	160	270	232
Шпаковский	Чернозем обыкновенный	140	264	226
4				
Георгиевский	Чернозем южный	142	210	180
Минераловодский	Чернозем солонцеватый	146	220	186
Кировский	Чернозем южный	134	204	178
Предгорный	Чернозем выщелоченный	152	228	198

**Приложение 3 - Месячное и годовое количество осадков (мм)**

<b>Станция</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	<b>IX</b>	<b>X</b>	<b>XI</b>	<b>XII</b>	<b>IV-X</b>	<b>XI-III</b>	<b>Год</b>
Александровское	25,0	24,8	31,0	44,0	58,7	78,5	54,0	64,2	39,3	37,9	33,3	33,5	376,6	147,6	524,2
Арзгир	20,9	17,4	18,5	27,9	37,1	61,9	42,5	44,0	27,2	25,5	25,0	22,8	266,1	104,6	370,7
Благодарный	22,9	19,6	23,1	32,3	48,7	69,4	45,8	51,6	32,8	29,5	32,7	30,0	310,1	128,3	438,4
Буденновск	21,1	19,6	22,4	35,6	47,9	61,8	40,4	45,4	29,2	23,6	27,6	28,8	283,9	119,5	403,4
Георгиевск	22,8	24,4	30,2	49,0	61,6	90,0	59,6	56,3	37,6	35,2	33,0	29,2	389,3	139,6	528,9
Дивное	33,0	23,6	25,2	35,3	44,4	63,5	47,0	42,5	28,3	32,7	36,4	36,0	293,7	154,2	447,9
Зеленокумск	20,1	21,0	26,2	40,3	53,6	80,0	47,7	51,8	31,6	28,7	31,2	29,8	333,7	128,3	462,0
Изобильный	33,0	31,6	34,6	51,4	64,4	85,0	53,0	54,5	38,1	42,6	44,0	43,0	389,0	186,2	575,2
Кисловодск	15,6	16,4	26,0	58,5	95,9	116,7	97,5	81,9	53,6	33,4	23,6	22,0	537,5	103,6	641,1
Красногвардейское	37,0	28,8	31,9	43,8	57,5	62,0	57,8	51,9	35,4	37,3	45,8	47,3	345,7	190,8	536,5
Минеральные Воды	17,4	17,1	27,3	52,2	65,3	78,9	65,1	48,8	33,9	30,5	26,7	28,6	374,7	117,1	491,8
Невинномысск	24,1	21,3	30,5	53,0	68,8	95,2	60,5	74,4	44,4	38,1	36,5	32,5	434,4	144,9	579,3
Новоалександровск	43,9	33,1	37,2	52,5	68,7	75,7	56,3	49,9	44,3	45,1	52,0	50,9	392,5	217,1	609,6
Рощино	19,5	18,5	19,8	29,6	39,4	58,6	43,7	41,1	24,4	21,0	29,0	28,4	257,8	115,2	373,0
Светлоград	25,8	21,5	22,7	41,4	65,7	77,0	54,7	53,0	31,9	35,1	39,7	38,0	358,8	147,7	506,5
Ставрополь	28,4	24,7	30,4	46,6	63,1	86,1	54,5	52,7	42,0	43,6	41,1	37,8	388,6	162,4	551,0

**Приложение 4 - Примерные сроки посева и уборки  
сельскохозяйственных культур по зонам Ставропольского края**

Культура	Сев	Полная спелость
Озимая пшеница	15.09 – 5.10	1.07 – 15.07
Озимая рожь	15.09 – 25.09	15.07 – 25.07
Озимый ячмень	15.09 – 25.09	25.06 – 10.07
Яровая пшеница	15.03 – 30.03	18.06 – 25.07
Яровой ячмень	15.03 – 30.03	10.06 – 15.07
Овес	15.03 – 30.03	15.06 – 22.07
Кукуруза на зерно	15.04 – 30.04	20.09 – 10.10
Кукуруза на силос	15.04 – 30.04	25.07 – 10.08
Просо	20.04 – 30.04	10.07 – 20.07
Сорго	1.05 – 10.05	15.09 – 5.10
Рис	1.05 – 10.05	1.10 – 30.10
Гречиха	20.04 – 30.04	15.07 – 25.07
Горох	10.03 – 20.03	15.07 – 25.07
Соя	1.05 – 10.05	15.09 - 15.10
Сахарная свекла	1.04 – 10.04	1.10 – 30.10
Картофель	1.04 – 10.04	15.08 – 15.09
Люцерна	1.08 – 15.08	15.05 – 20-25.05
Эспарцет	1.08 – 15.08	22.06 – 10.07
Люцерна на семена	1.08 – 15.08	25.07 – 15.08
Горох+овес на з/к	15.03 – 30.03	25.05 – 10.06
Подсолнечник	20.04 – 30.04	20.08 – 15.10
Горчица	15.03 – 30.03	1.07 – 10.07
Озимый рапс на зеленый корм	20.08 – 30.08	25.04 – 5.05
Яровой рапс на семена	1.04 – 10.04	10.07 – 15.07
Хлопчатник	1.05 – 10.05	5.10 – 20.10
Лен	1.05 – 10.05	20.07 – 30.07

**Приложение 5 - Средняя месячная и годовая температура воздуха (°С)**

<b>Станция</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	<b>IX</b>	<b>X</b>	<b>XI</b>	<b>XII</b>	<b>IV-X</b>	<b>XI-III</b>	<b>Год</b>
Александровское	-3,6	-3,2	1,8	10,1	15,8	19,4	22,5	21,3	16,1	9,4	3,5	-0,7	16,4	-0,4	9,4
Арзгир	-3,7	-3,2	2,2	11,0	17,3	21,9	24,7	23,4	17,8	10,3	3,7	-0,5	18,1	-0,3	10,4
Благодарный	-3,8	-3,2	2,0	10,5	16,4	20,5	23,9	22,5	17,1	9,8	3,7	-0,8	17,2	-0,4	9,9
Буденновск	-3,6	-3,0	2,6	10,9	17,0	21,7	24,6	23,4	17,8	10,5	4,0	-0,9	18,0	-0,2	10,4
Георгиевск	-3,2	-2,7	2,3	10,4	15,7	19,9	22,7	21,8	16,6	9,6	3,8	-0,8	16,7	-0,1	9,7
Дивное	-3,9	-3,3	2,2	11,1	17,2	21,8	24,6	23,2	17,5	10,1	3,7	-0,8	17,9	-0,4	10,3
Зеленокумск	-3,1	-2,4	2,8	11,1	16,8	21,2	24,1	23,0	17,7	10,3	4,3	-0,5	17,5	0,2	10,1
Изобильный	-2,5	-1,0	3,4	11,6	16,8	20,4	23,1	22,1	17,1	10,6	5,5	1,3	17,4	1,3	10,7
Кисловодск	-2,8	-2,3	1,5	8,2	12,6	15,9	18,4	17,8	13,6	8,2	3,3	-0,6	13,5	-0,2	7,8
Красногвардейское	-3,1	-2,1	3,1	11,4	16,8	21,1	23,7	22,7	17,2	10,3	4,3	-0,0	17,6	0,4	10,5
Минеральные Воды	-3,8	-2,8	2,3	10,0	15,3	19,1	21,7	21,4	16,3	9,5	3,6	-1,2	16,2	-0,4	9,3
Невинномысск	-3,6	-2,6	2,4	10,3	15,5	19,4	22,2	21,3	16,4	9,6	3,7	-1,0	16,4	-0,2	9,5
Новоалександровск	-2,4	-1,3	3,7	11,7	16,8	20,7	23,3	22,3	17,1	10,4	4,8	0,4	17,5	1,0	10,6
Рощино	-3,1	-2,2	3,0	10,8	17,0	21,5	24,5	23,3	18,0	11,0	4,6	-0,1	18,0	0,4	10,7
Светлоград	-2,7	-2,1	3,1	11,5	16,0	21,1	23,9	22,7	17,3	10,5	4,5	0,3	17,7	0,6	10,6
Ставрополь	-3,4	-2,8	1,7	9,7	14,9	19,0	21,8	20,9	15,9	9,3	3,5	-0,6	15,9	-0,3	9,2

**Приложение 6 – Вынос элементов питания 1 ц основной продукции  
и соответствующим количеством побочной, кг**

Культуры	N	P	K
Пшеница озимая	3,0	1,1	2,5
Пшеница яровая	3,0	1,2	2,2
Рожь озимая	3,1	1,4	2,6
Ячмень	2,5	1,1	2,2
Овес	3,0	1,3	2,6
Кукуруза (зерно)	3,0	1,0	3,1
Просо	3,3	1,0	3,3
Гречиха	3,0	1,5	3,9
Сорго	3,7	1,1	1,5
Горох	6,6	1,5	2,0
Люпин	6,8	1,9	4,7
Соя	7,2	1,4	1,9
Вика (зерно)	6,2	1,3	1,6
Вика (сено)	2,3	0,6	1,0
Лен-долгунец (семена)	8,0	4,0	7,0
Лен-долгунец (солома)	1,2	0,7	1,7
Конопля	2,0	0,6	1,0
Подсолнечник	6,0	2,5	14,3
Свекла сахарная	0,6	0,2	0,8
Свекла кормовая	0,4	0,1	0,5
Картофель	0,6	0,3	1,5
Люцерна (сено)	2,6	0,7	1,5
Клевер луговой (сено)	2,0	0,6	1,5
Тимофеевка (сено)	1,6	0,7	2,0
Эспарцет (сено)	2,5	0,5	1,3
Костер безостый (сено)	2,2	0,6	1,8
Кукуруза (зеленая масса)	0,5	0,1	0,4
Яровой рапс на семена	5,6	3,0	5,6
Озимый рапс на семена	4,9	2,3	3,0
Рапс на зеленую массу	0,5	0,2	0,7

**Приложение 7 - Коэффициенты использования элементов питания из почвы с программируемым урожаем ( $K_n$ ) (Агеев В.В., 2001)**

Содержание $P_2O_5$ в почве, мг/кг	$K_n$ фосфора	Содержание $K_2O$ в почве, мг/кг	$K_n$ калия
1	2	3	4
<10,0	0,3	<100	0,5
10,5	0,31	105	0,51
11,0	0,32	110	0,52
11,5	0,33	115	0,53
12,0	0,34	120	0,54
12,5	0,35	125	0,55
13,0	0,36	130	0,56
13,5	0,37	135	0,57
14,0	0,38	140	0,58
14,5	0,39	145	0,59
15,0	0,40	150	0,6
15,5	0,41	155	0,61
16,0	0,42	160	0,62
16,5	0,43	165	0,63
17,0	0,44	170	0,64
17,5	0,45	175	0,65
18,0	0,46	180	0,66
18,5	0,47	185	0,67
19,0	0,48	190	0,68
19,5	0,49	195	0,68
20,0	0,50	200	0,7
20,5	0,51	205	0,71
21,0	0,52	210	0,72
21,5	0,53	215	0,73
22,0	0,54	220	0,74
22,5	0,55	225	0,75
23,0	0,56	230	0,76
23,5	0,57	235	0,77
24,0	0,58	240	0,78
24,5	0,59	245	0,79
25,0	0,60	250	0,8
25,5	0,61	255	0,81
26,0	0,62	260	0,82
26,5	0,63	265	0,83

## Продолжение приложения 7

1	2	3	4
27,0	0,64	270	0,84
27,5	0,65	275	0,85
28,0	0,66	280	0,86
28,5	0,67	285	0,87
29,0	0,68	290	0,88
29,5	0,69	295	0,89
30,0	0,70	300	0,90
30,5	0,71	305	0,91
31,0	0,72	310	0,92
31,5	0,73	315	0,93
32,0	0,74	320	0,94
32,5	0,75	325	0,95
33,0	0,76	330	0,96
33,5	0,77	335	0,97
34,0	0,78	340	0,98
34,5	0,79	345	0,99
35,0	0,80	>350	1,0
35,5	0,81		
36,0	0,82		
36,5	0,83		
37,0	0,84		
37,5	0,85		
38,0	0,86		
38,5	0,87		
39,0	0,88		
39,5	0,89		
40,0	0,90		
40,5	0,91		
41,0	0,92		
41,5	0,93		
42,0	0,94		
42,5	0,95		
43,0	0,96		
43,5	0,97		
44,0	0,98		
44,5	0,99		
>45	1,00		

**Приложение 8 - Примерное содержание элементов питания в почвах пашни Ставропольского края (Агеев В.В, Подколзин А.И., 2001).**

Зона, район	Преобладающий тип (подтип) почвы	Содержание		
		Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг
1				
Апанасенковский	Каштановые	2,0	22	409
Арзгирский	Каштановые	1,7	23	349
Левокумский	Светло-каштановые	1,56	24	415
Нефтекумский	Светло-каштановые	1,44	28	425
Туркменский	Каштановые солонцеватые	2,3	17	334
2				
Александровский	Чернозем типичный	3,5	25	280
Благодарненский	Каштановые	2,3	27	324
Буденовский	Каштановые	1,97	26	335
Ипатовский	Темно-каштановые	2,80	21	410
Курской	Темно-каштановые	2,19	20	319
Новоселецкий	Темно-каштановые	2,47	23	261
Петровский	Темно-каштановые	3,0	22	327
Советский	Темно-каштановые	2,6	20	339
Степновский	Темно-каштановые	2,1	24	345
3				
Изобильненский	Чернозем обыкновенный	3,6	18	346
Грачевский	Чернозем обыкновенный	3,3	22	255
Кочубеевский	Чернозем обыкновенный	4,2	20	325
Красногвардейский	Чернозем южный	3,0	20	275
Андроповский	Черноземы солонцеватые	4,5	15	363
Новоалександровский	Чернозем обыкновенный	3,8	20	379
Труновский	Чернозем обыкновенный	3,2	19	331
Шпаковский	Чернозем обыкновенный	4,4	14	346
4				
Георгиевский	Чернозем южный	3,4	23	330
Минераловодский	Черноземы солонцеватые	4,9	26	323
Кировский	Чернозем южный	3,6	28	319
Предгорный	Чернозем выщелоченный	5,5	27	377

**Приложение 9 – Средние коэффициенты использования  
питательных веществ растениями из удобрений, %**

Год действия	Органических			Минеральных		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1-й год	20-25	25-30	50-60	60-70	15-20	50-60
2-й год	20	10-15	10-15	-	10-15	10-20
3-й год	10	5	-	-	5	-
За ротацию севооборота	50-55	40-50	60-75	60-70	30-40	65-80

**Приложение 10 - Почвенный покров Ставропольского края**

Наименование почв	Площадь, тыс. га
Черноземы выщелоченные (типичные)	55,5
Черноземы карбонатные (обыкновенные)	1257,7
Черноземы солонцеватые	405,7
Черноземы южные	658,5
Темно-каштановые карбонатные	1115,2
Темно-каштановые солонцеватые	155,4
Каштановые карбонатные	316,6
Каштановые солонцеватые	735,4
Светло-каштановые карбонатные	246,7
Светло-каштановые солонцеватые	162,5
Солонцы	274,3
Пески	241,1
Луговые	111,9
Пойменные	363,1
Солончаки	43,6
<b>ВСЕГО</b>	<b>6342,2</b>

**Приложение 11 – Коэффициенты использования растениями  
основных элементов питания из почвы (Кп)**

Культуры	N	P	K
Пшеница озимая	0,20-0,35	0,05-0,10	0,08-0,15
Пшеница яровая	0,20-0,30	0,05-0,8	0,06-0,12
Рожь озимая	0,20-0,35	0,05-0,12	0,07-0,14
Ячмень	0,15-0,35	0,05-0,08	0,06-0,10
Овес	0,20-0,35	0,05-0,11	0,08-0,14
Кукуруза (зерно)	0,25-0,40	0,06-0,18	0,08-0,28
Просо	0,15-0,35	0,05-0,09	0,06-0,09
Гречиха	0,15-0,35	0,05-0,09	0,06-0,09
Сорго	0,15-0,40	0,06-0,13	0,07-0,15
Горох	0,30-0,55	0,09-0,16	0,06-0,17
Люпин	0,30-0,65	0,08-0,16	0,07-0,36
Вика (зерно)	0,25-0,40	0,06-0,10	0,05-0,11
Вика (сено)	0,20-0,35	0,06-0,09	0,05-0,10
Лен-долгунец (семена)	0,25-0,35	0,03-0,12	0,07-0,20
Лен-долгунец (солома)	0,22-0,32	0,03-0,12	0,06-0,18
Конопля	0,20-0,35	0,08-0,15	0,06-0,13
Подсолнечник	0,30-0,45	0,07-0,17	0,08-0,24
Свекла сахарная	0,25-0,50	0,06-0,15	0,07-0,40
Свекла кормовая	0,20-0,45	0,05-0,12	0,06-0,25
Картофель	0,20-0,35	0,07-0,12	0,09-0,40
Люцерна (сено)	0,35-0,70	0,07-0,20	0,08-0,25
Клевер луговой (сено)	0,30-0,65	0,05-0,18	0,06-0,16
Тимофеевка (сено)	0,15-0,25	0,03-0,10	0,08-0,12
Костер безостый (сено)	0,30-0,45	0,06-0,16	0,07-0,18
Кукуруза (зеленая масса)	0,20-0,40	0,06-0,18	0,8-0,28

**Приложение 12 – Коэффициенты использования основных элементов питания полевыми культурами из туков (Ку)**

Культуры	N	P	K
Пшеница озимая	0,55-0,85	0,15-0,45	0,55-0,95
Пшеница яровая	0,45-0,75	0,15-0,35	0,55-0,85
Рожь озимая	0,55-0,80	0,25-0,40	0,65-0,80
Ячмень	0,60-0,75	0,20-0,40	0,60-0,70
Овес	0,60-0,80	0,25-0,35	0,65-0,85
Кукуруза (зерно)	0,65-0,85	0,25-0,45	0,75-0,95
Просо	0,55-0,75	0,25-0,40	0,65-0,85
Гречиха	0,50-0,70	0,30-0,45	0,70-0,90
Сорго	0,55-0,80	0,25-0,35	0,65-0,85
Горох	0,50-0,80	0,30-0,45	0,70-0,80
Люпин	0,50-0,90	0,15-0,40	0,55-0,75
Вика (зерно)	0,55-0,85	0,20-0,35	0,65-0,80
Вика (сено)	0,50-0,75	0,20-0,30	0,60-0,75
Лен-долгунец (семена)	0,55-0,70	0,15-0,35	0,65-0,85
Лен-долгунец (солома)	0,55-0,65	0,15-0,30	0,65-0,80
Конопля	0,55-0,65	0,50-0,30	0,65-0,80
Подсолнечник	0,55-0,75	0,25-0,35	0,65-0,95
Свекла сахарная	0,60-0,85	0,25-0,45	0,70-0,95
Свекла кормовая	0,65-0,90	0,30-0,45	0,80-0,95
Картофель	0,50-0,80	0,25-0,35	0,85-0,95
Люцерна (сено)	0,80-0,95	0,30-0,45	0,80-0,95
Клевер луговой (сено)	0,75-0,90	0,30-0,40	0,75-0,90
Тимофеевка (сено)	0,80-0,90	0,25-0,35	0,75-0,85
Костер безостый (сено)	0,75-0,95	0,30-0,45	0,80-0,85
Кукуруза (зеленая масса)	0,60-0,85	0,25-0,40	0,75-0,95