


МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Утверждаю:

Проректор по учебной работе
профессор

 П.Б. Акмаров
«22» 06 2016 г.

Макаров В.И.

НОРМИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АГРОХИМИКАТОВ

**Методы расчета технологической, агрохимической,
экологической, энергетической, экономической
эффективности применения удобрений**

Учебное пособие

Ижевск
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА
2016

УДК 631.8 (075.8)
ББК 40.40я73
М 15

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки бакалавриата № 1166 от 20 октября 2015 г. «Агрохимия и агропочвоведение»

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, протокол № 5 от «28» июня 2016 г.

Рецензенты:

А.С. Башков – профессор, доктор с.-х. наук ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

П.Ф. Сутыгин – доцент, доктор эконом. наук ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

М 15 **Макаров, В.И.**

Нормирование применения агрохимикатов. Методы расчета технологической, агрохимической, экологической, энергетической, экономической эффективности применения удобрений : учебное пособие / В.И. Макаров. – Ижевск : ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2016. – 59 с.

Изложены теоретические основы определения технологической, агрохимической, экологической, энергетической, экономической эффективности применения агрохимикатов. Подробно описана методика расчета агрохимической и агроэкологической эффективности использования удобрений в агротехнологиях.

Для студентов бакалавриата направления подготовки «Агрохимия и агропочвоведение».

УДК 631.8 (075.8)
ББК 40.40я73

© ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2016
© Макаров В.И., 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Показатели эффективности производства растениеводческой продукции .	7
1.1 Агротехнологическая эффективность	7
1.2 Экологическая эффективность агротехнологий	16
1.2.1 Природоохранная эффективность	19
1.2.2 Агроэкологическая эффективность	22
1.3 Энергетическая эффективность применения агрохимикатов в агро- технологиях	27
1.3.1 Энергетическая эффективность производства растениеводческой продукции при использовании агрохимикатов	27
1.3.2 Энергетическая оценка гумусового состояния почв	35
1.4 Экономическая оценка применения агрохимикатов	38
2 Расчет агротехнологической и агрохимической эффективности	43
2.1 Общие агротехнологические и агрохимические показатели эффек- тивности	43
2.2 Специальные агрохимические показатели эффективности	49
Рекомендуемая литература	57

ВВЕДЕНИЕ

Научные исследования в агрохимии характеризуются единой конечной целью – повышение эффективности использования земель, производства растениеводческой продукции. Важной характеристикой современных технологий производства растениеводческой продукции является: внедрение высокоэффективных технологических операций, учет биотических и абиотических факторов при планировании агротехнологий, широкое использование высокопроизводительной техники в системе «точного земледелия». Только в этом случае можно добиться получения продукции с запланированными характеристиками. Все многообразие систем земледелия можно разделить на два больших класса: химикотехногенный и ландшафтно-адаптивный. В первом классе ведущую роль играет энергоемкость и материалоемкость производства, химизация (минеральные удобрения, пестициды). Во втором ведущая роль принадлежит гибкому планированию в пространстве и во времени в соответствии с неоднородностью почв, рельефа, ландшафтных условий. Приоритетным является применение биологических и биоценотических приемов интенсификации, максимальное использование органических отходов, почвоулучшающих компонентов севооборотов, разработка систем машин и механизмов с минимальным травматическим воздействием на почву; сведение к минимуму химических влияний на почвы, поверхностные и грунтовые воды.

Обязательным требованием при разработке и совершенствованию агротехнологий является расчет эффективности производства. Если ранее ограничивались расчетами агрономической и экономической эффективности производства продукции растениеводства, то в настоящее время расширен спектр определяемых показателей. Растения в процессе фотосинтеза аккумулируют солнечную энергию в своих тканях, основной и побочной продукции. В свою очередь и сами агротехнологии предусматривают использование значительной энергии для выполнения агротехнических мероприятий. Поэтому вновь разрабатываемые технологии должны характеризоваться высокой энергетической эффективностью.

При использовании современных агротехнологий наблюдается существенное негативное воздействие на окружающую природную среду. Нерациональные системы земледелия могут привести к деградации земель: эрозии почв, дегумификации, агроистощению и др. Кроме того, при выполнении агротехнических мероприятий агрегатами происходит выбросы в атмосферу загрязняющих веществ с выхлопными газами, происходит переуплотнение почвы. При нерациональном применении, пестицидов, агрохимикатов и органических удобрений возможно загрязнение объектов окружающей среды, растениеводческой продукции. Следовательно, требуется исследование и экологической эффективности агротехнологий.

Важным фактором повышения урожайности сельскохозяйственных культур, регулирования качества произведенной продукции являются агрохимикаты. Известно, что именно с помощью органических и минеральных удобрений возможно регулирование питания сельскохозяйственных культур с учетом свойств почв и видовых особенностей растений. В то же время, варьирование стоимости агрохимикатов и растениеводческой продукции на рынке, нелинейные зависимости прироста урожайности сельскохозяйственных культур от удобрений, обязательно предусматривают прогнозный расчет экономической эффективности.

В соответствии с ФГОС ВО направления бакалавриата «Агрохимия и агропочвоведения» и вузовского учебного плана студенты должны освоить следующие компетенции: способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (ОКП-1); способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа (ОКП-2); способностью обосновать рациональное применение, технологических приемов воспроизводства плодородия почв (ПК-5); готовностью составить схемы севооборотов, системы обработки почвы и защиты растений, обосновать экологически безопасные

технологии возделывания культур (ПК-6); способностью провести анализ и оценку качества сельскохозяйственной продукции (ПК-7); способностью к проведению экологической экспертизы сельскохозяйственных объектов (ПК-9); готовностью изучать современную информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследований (ПК-14).

1 ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Любая новая научная разработка в области агрономии может быть рекомендована для аграрного производства лишь при выполнении шести критериев.

1. По сравнению с базовой технологией при использовании инновационной агротехнологии получается стабильная существенная прибавка урожайности сельскохозяйственной культуры.
2. Усовершенствованная технология позволяет производить растениеводческую продукцию, соответствующую по качеству нормативным требованиям при более высокой товарности.
3. Разработанная технология не должна приводить к агроистощению, деградации и другим негативным последствиям для плодородия почв.
4. Рекомендуемая агротехнология должна характеризоваться более высокой экономической эффективностью по сравнению с базовой.
5. В новой агротехнологии должны быть снижены энергозатраты на производство продукции растениеводства.
6. Производство растениеводческой продукции по усовершенствованной технологии сопровождается снижением негативного воздействия на окружающую природную среду.

1.1 Агротехнологическая эффективность

Агротехнологическая эффективность (АТЭ) – характеризует использование ресурсов или средств производства и измеряется натуральными показателями. Эти показатели широко используются для оценки эффективности технологий производства продукции растениеводства в системах земледелия. По этой причине этот вид эффективности производства иногда называют агрономическим. Можно выделить два вида агротехнологической эффективности – **общетехнологическая (ОТЭ)** и **частнотехнологическая (ЧТЭ)**.

ОТЭ используется для сравнения эффективности нескольких технологий, в которых перечень технологических операций, видов агрегатов отличаются по нескольким позициям. Например, производится сравнение технологий возделывания ячменя по трем системам обработки почвы: No-Till, Mini-Till, Max-Till. В системе No-Till не предусмотрено основной и предпосевной обработки почвы. Для посева по этой системе необходимо использовать специальный посевной комплекс, отличающийся меньшей производительностью и большими затратами энергии по сравнению с сеялками, рекомендованными для Max-Till.

ЧТЭ предусматривает сравнительную оценку эффективности только одного технологического приема в пределах инновационной технологии производства продукции растениеводства. Например, производится технологическая оценка основной обработки почвы – вспашка с предварительным лущением стерни и без лущения. Примером ЧТЭ является и исследования характеристик самого технологического приема. Например, оценивается эффективность различных пестицидов в системе защиты растений, доз минеральных и органических удобрений, сортоиспытания.

Проблема проведения научных работ в этой области заключается в выборе вида АТЭ – ОТЭ или ЧТЭ. Например, при проведении сортоиспытания сортов и гибридов, предусмотренных для выращивания по идентичным технологиям, следует использовать принцип ЧТЭ. В случае наличия в выборке сортов сельскохозяйственных культур, предусматривающие разные технологии возделывания, необходимо использовать ОТЭ. В качестве примера можно привести ячмень, сорта которого имеют кормовое, продовольственное и пивоваренное назначение, следует выращивать в разных технологиях.

Особенностью ЧТЭ является то, что рассчитываются все показатели, используемые в ОТЭ. Но наряду с эти выполняются расчеты эффективности внутри технологической операции. В частности возможно нахождение прибавки урожайности сельскохозяйственных культур, повышения качественных показателей растениеводческой продукции. Особенностью ЧТЭ является наличие у

этого вида эффективности своих индивидуальных показателей. Так при использовании средств защиты растений в агротехнологиях оценивается биологическая эффективность пестицида, например, снижение распространенности вредителей сельскохозяйственных культур в посевах.

Общетеchnологическая и частнотехнологическая эффективность применения минеральных (NPK) и органических удобрений (ОУ), химических мелиорантов (ХМ), можно назвать **агрохимической эффективностью (АхЭ)**. Особенностью показателей АхЭ является то, что они характеризуют объемы произведенной продукции растениеводства, использования элементов питания из агрохимикатов и почв.

Основные показатели АхЭ при производстве растениеводческой продукции приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели агротехнологической и агрохимической эффективности при применении удобрений и химических мелиорантов

Показатели эффективности	Единицы измерений
Общие агротехнологические и агрохимические	
Прибавка урожайности основной и побочной продукции - на площадь учета - на единицу внесенного NPK, ОУ, ХМ	ц/га, т/га, кг/м ² , шт./м ² кг продукции/кг NPK (т ОУ, т ХМ)
Долевое участие удобрений в формировании урожая	%
Прибавка урожайности основной и побочной продукции в пересчете на значение продуктивности - на площадь учета - на единицу внесенного NPK, ОУ, ХМ	зерн.ед./га зерн.ед./кг NPK (т ОУ, т ХМ)
Изменение содержания основных компонентов, определяющих качество растениеводческой продукции - на единицу массы продукции - на единицу внесенного NPK, ОУ, ХМ	массовая доля (%), кг/т % /кг NPK (т ОУ, т ХМ)
Изменение сбора основных компонентов, определяющих качество растениеводческой продукции - на площадь учета - на единицу внесенного NPK, ОУ, ХМ	кг/га кг компонента/кг NPK (т ОУ, т ХМ)
Изменение товарности продукции по классам или сортам - на площадь учета - на единицу внесенного NPK, ОУ, ХМ	доля % % /кг NPK (т ОУ, т ХМ)
Изменение соотношения «основная продукция : побочная продукция»	коэффициент

Показатели эффективности	Единицы измерений
Изменение засоренности посевов	шт./м ²
Изменение чистоты бункерного зерна	%
Изменение влажности бункерного зерна	%
Изменение продолжительности вегетационного периода	дн.
Изменение производительности сельскохозяйственных машин: - почвообрабатывающих агрегатов - посевных агрегатов - уборочных машин и комбайнов	га/час., т/га
Изменение затрат на производство продукции: - ГСМ - трудовых ресурсов - земельных ресурсов	кг ГСМ/га (т продукции) чел.-час/га (т продукции) га/т продукции
Специальные агрохимические	
Затраты NPK, ОУ, ХМ: - на производство продукции растениеводства - не сбор основного компонента продукции растениеводства	кг NPK (т ОУ, т ХМ)/т (тыс. зерн.ед.) кг NPK (т ОУ, т ХМ)/кг компонента
Хозяйственный вынос элементов питания: - основной продукцией - побочной продукцией	кг NPK/га
Нормативный вынос элементов питания	кг NPK/т
Коэффициент использования элементов питания из почвы	% NPK
Коэффициент использования элементов питания из удобрений	% NPK
Коэффициент возмещения элементов питания	% NPK

Прибавка урожайности. Главным показателем эффективности удобрений является прибавка урожайности сельскохозяйственных культур как в ОТЭ, так и АхЭ. Этот вид эффективности агротехнологии принято приводить в виде количества дополнительно полученной продукции в пересчете на определенную площадь. Единицы измерения зависят в научных исследованиях от вида опытов: в микрополевых и мелкоделяночных – 1 м², в полевых и производственных – 1 га. Результат можно представлять в абсолютных значениях или относительных – в сравнении с контрольным значением.

Урожайность сельскохозяйственных культур следует представлять в пересчете на стандартную продукцию. Например, для зерновых культур это 100 %

чистота и 14 % влажность. При оценке эффективности агротехнологий в картофелеводстве учитываются требования к товарности продукции по целевому назначению – продовольственному, семенному и др.

В агрохимических исследованиях прибавку урожайности можно представить на единицу внесенного агрохимиката. Этот показатель агрохимической эффективности называется «Оплата удобрений урожаем». При применении минеральных удобрений результат представляется в килограммах полученной прибавки на каждый килограмм использованного действующего вещества (кг/кг). Например, в контрольном варианте без удобрений получена урожайность зерна ячменя 1,0 т/га, в опытном – при использовании дозы N20P20K10 – 1,5 т/га. Прибавка урожайности составила 0,5 т/га или 500 кг/га. Оплата удобрений урожаем равна 10 кг зерна на 1 кг действующего вещества удобрения.

В исследовательской работе используется несколько методов расчета прибавки урожайности сельскохозяйственных культур. Наиболее точным является сравнение с контрольным вариантом без удобрений. При исследовании возрастающих доз агрохимикатов результат можно рассчитывать уравнение регрессии. Однако существует несколько ограничений по выполнению расчетов и представлению результатов.

Во-первых, предварительно рассчитывается коэффициент корреляции и устанавливается теснота связи на 95 % уровне достоверности. При выборке 30 пар она равняется 0,3. Если коэффициент корреляции меньше этого значения, уравнение регрессии не рассчитывается.

Во-вторых, если уравнение регрессии не сопровождается рисунком необходимо указать диапазон урожайности и доз удобрений, в пределах которых действует эта связь.

На рисунке 1 приводится пример оформления результатов исследований при изучении эффективности возрастающих доз азотных удобрений в технологии производства зерна ячменя.

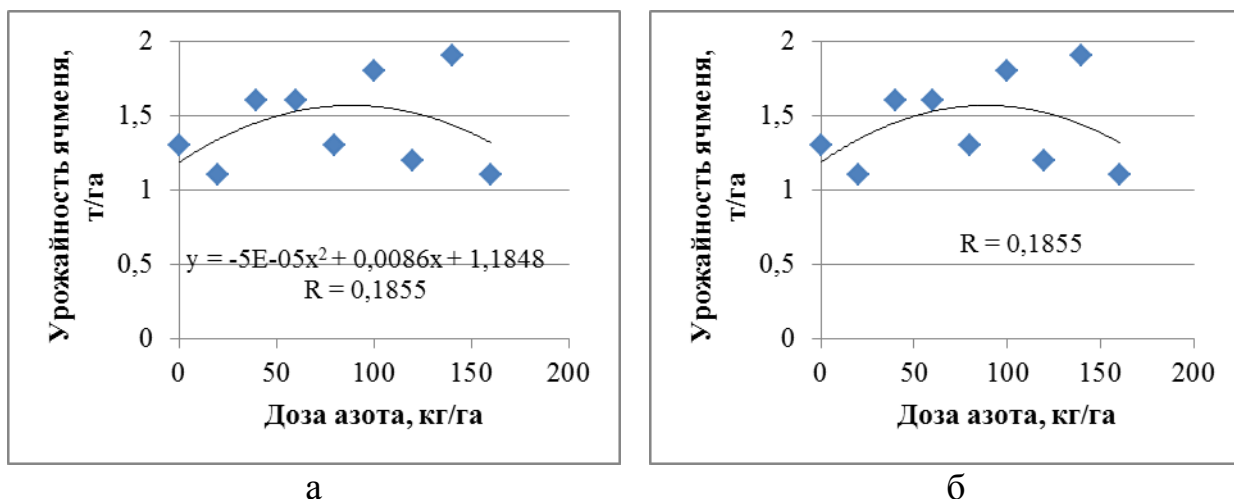


Рис.1. Примеры неправильного (а) и правильного (б) представления результатов

В третьих, выбирается вид связи, имеющий наиболее высокий коэффициент корреляции. На рисунке 2 представлены примеры правильного и неправильного представления результатов.

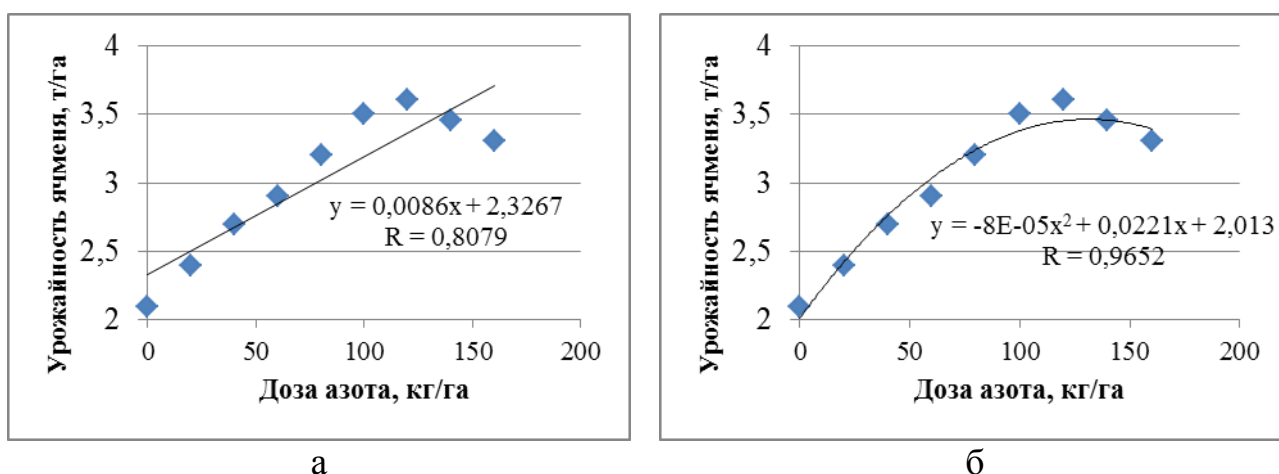


Рис.2. Примеры неправильного (а) и правильного (б) представления результатов

В четвертых, не рекомендуется включать в одну выборку результаты, полученные в различных погодных условиях, отличающиеся по элементам технологии возделывания сельскохозяйственных культур. В качестве примера представлены результаты полевых исследований, проведенных Л.И. Ермаковой [2015] (таблица 2).

На основе многолетних исследований сделано заключение о большей эффективности органоминеральной системы удобрения. При усреднении четырехлетних данных получена достоверная прибавка 27 ц/га при $НСР_{05} = 25$.

Таблица 2 – Влияние систем удобрения на урожайности картофеля за 2006, 2007, 2013, 2014 гг.

Система удобрения	Урожайность картофеля по годам, ц/га				
	2006	2007	2013	2014	в среднем
1. Органоминеральная (к)	284	228	207	320	260
2. Биологизированная	338	177	209	208	233
Прибавка к контролю	54	-51	2	-112	-27
$НСР_{05}$	28,8	6,8	39,6	24,3	25,0

В агрономических исследованиях чаще всего представляются трехлетние исследования. Давайте рассмотрим, как складывалась бы эффективность различных систем удобрений, если бы исследования завершились 2013 г. В данном случае усредненная за три года урожайность картофеля по обеим системам удобрения отличалась всего на 1 ц/га, что явно входит в предел ошибки эксперимента. Если внимательно рассмотреть полученные данные, можно выявить нестабильность результатов по годам: в 2006 году достоверно эффективной была биологизированная система удобрения, 2007 г. – органоминеральная, 2013 г. – урожайность по обоим фонам достоверно не отличалась. В этом случае не следует проводить усреднения результатов, а рассматривать каждый год исследований отдельно. **Вариация урожайности по годам также является одним из показателей эффективности агротехнологий.** Она может существенно отличаться в зависимости от агрометеорологических условий. Например, регулятор роста растений ЦеЦеЦе750 в благоприятных погодных условиях дает достоверную прибавку зерна высокостебельных сортов озимых зерновых. В то же время, в условиях засушливого вегетационного периода этот пестицид может существенно снизить продуктивность культуры. Поэтому ожидаемую прибавку можно прогнозировать по многолетнему циклу агрометеорологических условий.

Таблица 3 – Влияние систем удобрения на урожайности картофеля за 2006, 2007, 2013 гг.

Система удобрения	Урожайность картофеля по годам, ц/га				
	2006	2007	2013	исследования не проведены	в среднем
1. Органоминеральная (к)	284	228	207		240
2. Биологизированная	338	177	209		241
Прибавка к контролю	54	-51	2		1
НСР ₀₅	28,8	6,8	39,6		

В пятых, показателем эффективности агрохимикатов является прибавка урожайности, а не урожайность при использовании удобрений. По этой причине при оценке агрохимической эффективности нельзя составлять выборки с использованием урожайности сельскохозяйственных культур и различных доз удобрений при их использовании по годам. Известно, что эффективность агрохимикатов существенно зависит от метеорологических условий вегетационного периода. Соответственно при этом изменяется не только прибавка урожайности, но и величина урожая в контрольном варианте.

Продуктивность сельскохозяйственных культур – это урожайность, пересчитанная в зерновые единицы с использованием индивидуальных коэффициентов. За одну зерновую единицу принято считать 1 кг пшеницы независимо от ее качества и химического состава.

Таблица 4 – Коэффициенты пересчета урожайности сельскохозяйственных культур в зерновые единицы

Культура и продукция	Коэффициент
Озимая рожь (зерно)	1,00
Озимая пшеница (зерно)	1,00
Яровая пшеница (зерно)	1,00
Ячмень (зерно)	1,00
Овес (зерно)	0,80
Горох (зерно)	0,99
Вика (зерно)	0,93
Кукуруза (зерно)	1,14
Просо (семена)	0,81
Гречиха (семена)	0,75
Горчица, рапс (семена)	1,56

Культура и продукция	Коэффициент
Лен-долгунец:	
волокно	3,85
семена	1,65
солома	0,41
Лен-кудряш: семена	1,65
Картофель (клубни)	0,25
Кормовые корнеплоды	0,20
Сено:	
однолетних трав	0,40
многолетних трав	0,50
Зеленая масса:	
кукуруза на силос и зеленый корм	0,17
силосные культуры (без кукурузы)	0,12
Солома:	
озимых культур	0,20
яровых культур	0,25
Овощи	0,16

Довольно часто для расчета продуктивности севооборотов используют и другой показатель – кормовую единицу, которая соответствует 1 кг зерна овса среднего качества. Следует отметить, что кормовая единица является устаревшим показателем питательности (энергоемкости) кормов. Во вновь введенных нормативных документах, регламентирующих качество кормовой продукции (сено, сенаж, силос и др.), его рекомендуют заменить другим показателем – обменной энергией, рассчитываемой в МДж.

Следует отметить, что в справочной литературе величина кормовой единицы в определенной растениеводческой продукции рассматривается не как стандарт. При зоотехническом анализе кормов их энергоемкость (в кормовых единицах или мегаджоулях) рассчитывается исходя из химического состава продукции, переваримости отдельных компонентов (сырого протеина, сырого жира, безазотистых экстрактивных веществ, сырой клетчатки). Причем эти расчеты выполняются применительно к конкретным видам и возрастным группам сельскохозяйственных животных и птицы.

Как известно, органические и минеральные удобрения существенно влияют на химический состав растениеводческой продукции. По этой причине энергоемкость продукции следует определять исходя из состава органических и ми-

неральных компонентов, а не рассчитывать с использованием коэффициентов перевода. Таким образом, продуктивность севооборотов необходимо рассчитывать в зерновых единицах или в кормовых единицах, но с учетом химического состава продукции.

Вопросы:

1. Дайте определение термину «Агротехнологическая эффективность».
2. Перечислите показатели «Агротехнологической эффективности».
3. Дайте определение термину «Агрохимическая эффективность».
4. Перечислите показатели «Агрохимической эффективности».
5. Перечислите показатели и единицы измерений прибавок урожайности сельскохозяйственных культур.
6. Какие основные методы и требования к расчету прибавки урожайности.

1.2 Экологическая эффективность агротехнологий

Производство растениеводческой продукции по степени воздействия на окружающую природную среду не относится к отраслям экономики с высокой экологической опасностью.

Сельское хозяйство также обладает рядом особенностей, которые влияют на экологичность производства. К этим факторам относят:

- ведения производства с использованием земель и иных объектов природной среды;
- значительная и длительная антропогенная нагрузка на природную среду, потенциальная опасность техногенного загрязнения;
- зависимость ритма и результатов производства, сроков и методов технологий от природно-климатических условий;
- сезонность производства и воздействия на природную среду;
- исторически сложившиеся местные и региональные традиции в жизни и деятельности населения.

В связи с этим, объективной необходимостью стало согласование экономических интересов производителей сельскохозяйственной продукции с экологическими требованиями рационального природопользования. Эффективность использования сельскохозяйственных угодий необходимо рассматривать обязательно с эколого-экономической точки зрения. Однако в настоящее время на селе сложились неблагоприятные социально-экономические условия, произошло значительное падение культуры земледелия. В этих условиях сельскохозяйственное производство может оказаться одним из основных источников негативного воздействия на состояние окружающей среды в государстве.

Основной причиной сложившейся неблагоприятной экологической ситуации в агропромышленном комплексе страны стал недостаток материально-денежных средств на финансирование технологий производства сельскохозяйственной продукции. При этом есть все основания ожидать снижения экологических рисков земледелия и повышения стабильности функционирования агроландшафта в целом.

Агропромышленный комплекс наносит вред окружающей среде в виде выбросов, сбросов, накопления отходов производства. Так, ежегодно в сельском хозяйстве страны образуется до 250 млн. т органических отходов, из них 150 млн. т приходится на навоз и птичий помет. Обезвреживание и утилизация отходов животноводческих и птицеводческих ферм и комплексов является важнейшей задачей обеспечения экологического благополучия населенных мест. Кроме того, работа тракторов и самоходной сельскохозяйственной техники сопровождается выбросами вредных продуктов сгорания топлива в атмосферу. В настоящее время усиливается опасность дальнейшего развития эрозионных процессов, дегумификации, переуплотнения почв, опустынивания земель и других негативных процессов. В отдельных случаях из-за нарушений регламентов и агротехнологий значительная часть вносимых пестицидов и

агрохимикатов не достигают объектов воздействия, нанося вред окружающей природной среде.

Поэтому в последние десятилетия на первое место из экологических проблем сельскохозяйственного производства выдвинулись задачи сохранения и расширенного воспроизводства плодородия почв, устранения негативных последствий техногенного воздействия на сельскохозяйственные угодья в виде загрязнения и нарушения, обеспечения устойчивого производства экологически безопасной продукции.

Под экологической эффективностью сельскохозяйственного производства подразумевается сохранение исходных характеристик окружающей природной среды и устойчивое функционирование агроэкосистем – вторичных, антропогенно измененных биосистем, главным составляющим которых являются почвы.

Показатели экологической эффективности необходимо использовать как оценочные критерии при разработке систем земледелия в условиях значительного антропогенного (технического и химического) воздействия на окружающую природную среду в системе государственного мониторинга земель. Дополнительно данные показатели должны служить основополагающей базой для осуществления экологической экспертизы при проведении проектных землеустроительных решений. Таким образом, расчет экологической эффективности может проводиться на различных этапах осуществления хозяйственной деятельности сельскохозяйственного предприятия. Во-первых, на стадии разработки бизнес-плана или обязательной ее составной части – проекта внутрихозяйственного землеустройства и системы земледелия. В данном случае проводятся расчеты на основе экспериментальных данных, полученных научными учреждениями в аналогичных почвенно-климатических зонах. Во-вторых, экологическая эффективность землепользования должна быть оценена на основе мониторинговых исследований почв, проводимых государственными

службами, осуществляющими почвенное и агрохимическое обследование (Методические указания ..., 2003).

Кроме того, экологическая эффективность может быть увязана не только с оценкой воздействия производства на почвы, но и другие объекты окружающей природной среды – атмосферу, гидросферу, растительный и животный мир и др. В этом случае критериями экологической оценки землепользования могут выступать разные показатели. По этой причине экологическую эффективность агротехнологий и систем земледелия в целом можно разделить на два направления: **природоохранная эффективность и агроэкологическая эффективность.**

1.2.1 Природоохранная эффективность

Данное направление предусматривает оценку положительного или негативного воздействия агрономических технологий на объекты окружающей природной среды.

Первое направление экологической эффективности оценивается по положительному действию технологии в связи с использованием растениями возобновляемых ресурсов. К таким показателям относится **аккумуляция сельскохозяйственными растениями солнечной энергии** (ГДж/га). В экологическом отношении данный вид энергии позволяет экономить невозобновляемые виды энергии (природный газ, каменный уголь, нефть и др.) и существенно увеличить энергоемкость самой экосистемы. **Аккумуляция сельскохозяйственными растениями диоксида углерода** в процессе фотосинтеза ($\text{кгCO}_2/\text{га}$). Многими учеными установлена роль диоксида углерода, как «парникового» газа, в потеплении климата Земли. Поэтому даже на международном уровне разрабатываются законопроект, стимулирующие снижение выбросов парниковых газов, разработки прогрессивных технологий по их утилизации (Киотский протокол). Поэтому экологическая эффективность производства сельскохозяйственных культур проявляется как результат усвоения и аккумуляции диоксида углерода в ос-

новой и побочной продукции, а также в пожнивно-корневых остатках. В расчетах можно учесть, что при фотосинтезе 100 кг органического вещества (в пересчете на глюкозу) растения аккумулируют около 42,5 кг диоксида углерода.

Второе направление основывается на расчете величины негативного воздействия агротехнологии на объекты окружающей среды или использования дополнительных ресурсов, главным образом, невозобновляемых. При этом рекомендуется экологическую эффективность рассчитывать в сравнении с базовыми технологиями. Наиболее востребованными показателями экологической эффективности являются следующие результаты и показатели технологий возделывания сельскохозяйственных культур:

Ресурсоемкость технологии производства – количество невозобновляемых природных ресурсов, использованных для производства валовой продукции. Наиболее информативным показателем экологической эффективности является **удельная ресурсоемкость** – количество потребляемых природных ресурсов, необходимых для производства единицы конечной продукции (кг/т). Такими показателями могут быть: *расход горюче-смазочных материалов* при производстве 1 т зерна или иной продукции; *затраты минеральных удобрений* в пересчете на 100 % действующее вещество (кгNPK/т) и др. Так, применение микробиологического удобрения Ризоторфин в технологии возделывания бобовых трав позволяет снизить затраты на применение азотных удобрений в севообороте за счет усиления симбиотической азотфиксации в размере 100-150 кгN/га (в составе основной продукции и пожнивно-корневых остатках). Ресурсоемкость технологии можно установить и по величине рассчитанного коэффициента использования элементов питания из удобрений. Важным показателем экологической эффективности является **удельная землеемкость** – размер земельной площади, необходимой для производства единицы продукции (га/т).

Отходность производства связана с потоками техногенных веществ в окружающую природную среду (выбросы в атмосферу, сбросы сточных вод в водоемы, формирование твердых отходов в отвалах и др.). Данный показатель оце-

нивают по количеству токсичных газов, сточных вод и отходов которые формируются в процессе производства продукции растениеводства. Наиболее информативным показателем является **удельная отходность**, которая характеризует количество образовавшихся вредных на единицу произведенной продукции. Так, выбросы в атмосферу токсичных газов передвижными источниками (тракторами, автомобилями, самоходными сельскохозяйственными машинами) можно рассчитать по расходу горючего (в килограммах на 1 тонну произведенной продукции) и нормативному количеству образовавшегося при их сгорании в двигателях токсичных газов (CO , N_2O и др.). В отдельных случаях экологическая эффективность может проявиться как результат формирования менее токсичных отходов в процессе производства продукции. Таким образом, при оценке экологической эффективности технологии следует учитывать следующие характеристики отходов: разнообразие выбрасываемых веществ; объемы выбросов отдельных примесей; класс токсичности веществ. Степень экологической опасности может быть оценена превышением абсолютных показателей ресурсопотребления над лимитами.

Экологическая эффективность может быть установлена **по величине снижения экологического риска**. Данный показатель определяется по различным направлениям. Одним из них является использование в технологии возделывания пестицидов – **пестицидная нагрузка**. В данном случае определяется количество пестицидов, использованных для защиты сельскохозяйственных культур от сорняков, болезней и вредителей (кг/га) в зависимости от их токсикологической характеристики.

Третье направление определения экологической эффективности имеет экономический характер. В данном случае устанавливается природоохранный эффект производственной деятельности предприятий связанный с платой за использование природных ресурсов, загрязнением окружающей среды, штрафными санкциями за загрязнение почв и нарушение земель.

Снижение платы за загрязнение окружающей природной среды. Данный показатель может быть рассчитан в виде **предотвращенного экологического ущерба**. Так экологический эффект можно определять как величину предотвращенного экономического ущерба от ликвидации сброса в водоемы загрязняющих веществ сточных вод и животноводческих стоков при их использовании для орошения, в том числе и удобрительного.

Определения размеров ущерба от нарушения земель и загрязнения почв химическими веществами. Так ущерб от загрязнения определяется: при произведенном загрязнении земель (выбросами и сбросами загрязняющих веществ) – на основе данных обследований земель и лабораторных анализов по сравнению с данными предыдущих обследований и анализов; при нарушении технологий и регламентов применения пестицидов и других агрохимикатов, несоблюдении природоохранных требований при их хранении, транспортировке и проведении погрузочно-разгрузочных работ, загрязнения земель при авариях, залповых сбросах и выбросах – на основе данных обследований земель и лабораторных анализов. Научно-исследовательская работа направлена на снижение негативного последствия данного загрязнения за счет применения природоохранных технологий. Например, снижение токсичного воздействия нефти (при аварийных разливах) на экосистему почв, за счет комплекса мероприятий по детоксикации почв (применение биопрепаратов, использование органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов), что позволит восстановить плодородие почв за короткий период (ранее срока самовосстановления).

Таким образом, одним из практических путей повышения эколого-экономической эффективности использования земельных ресурсов в агропромышленном комплексе является обязательная разработка адаптивно-ландшафтных систем земледелия, в которых учитываются экологические аспекты сельскохозяйственного производства.

1.2.2 Агроэкологическая эффективность

Агроэкологическая эффективность связана с формированием и сохранением благоприятных абиотических условий для роста и развития растений, проведения агротехнических мероприятий. Используемые в растениеводстве агротехнологии существенно влияют на плодородие почв. Оно определяется множеством показателей, которые принято подразделять на агрохимические, агрофизические и биологические факторы. В последние годы агроэкологическая эффективность оценивается по энергоемкости почв. Изучение интенсивности деградации земель или, наоборот, расширенного воспроизводства, является областью агроэкологических исследований. Соответственно, главным объектом изучения при расчете показателей агроэкологической эффективности является почва и ее составляющие. Кроме того, учитываются и эффективность использования удобрений и агрохимикатов, используемых для воспроизводства плодородия почв. Агроэкологическая эффективность основывается, в первую очередь, на исследованиях баланса различных веществ и энергии в земледелии (воды, биогенных элементов, органического вещества, энергии).

Баланс элементов питания – это характеристика круговорота питательных элементов в земледелии, оцениваемая по разности между их приходом и расходом. При оценке агроэкологической эффективности агротехнологий учитывается количество элементов питания, участвующих в производительной деятельности растений, почвенных организмов и в целом в биологическом круговороте в земледелии. Для этого используется несколько показателей, характеризующих экологическую стабильность функционирования агроценозов в единой системе «почва – растение – производство». В агроэкологических исследованиях выделяют два вида баланса биогенных элементов – биологический, хозяйственный.

Биологический баланс предусматривает учет всех приходных статей, включая поступления питательных элементов с органическими и минеральными удобрениями, осадками, семенами, симбиотическая и несимбиотическая азотфиксация, а также расходных – вынос питательных элементов в основной и

побочной продукции, а также их содержание в корневых и послеуборочных остатках. Этот показатель наиболее полно характеризует круговорот питательных веществ в земледелии.

Хозяйственный баланс рассчитывается по общему поступлению и отчуждению элементов питания. При расчете хозяйственного баланса учитываются все приходные и расходные статьи, в том числе и непроизводительные расходы.

Структура расходной части баланса – показатель, характеризующий количество и долевое участие отдельных статей расхода биогенных элементов из почв. В сумму расходной части баланса включается наряду с хозяйственным выносом и непроизводительные потери биогенных элементов из почвы в результате вымывания, эрозии почв, эмиссии азота в газообразной форме и др. Понятно, что в структуре расходной части баланса благоприятным является лишь вынос биогенных элементов. Нерациональное применение минеральных и органических удобрений в агротехнологиях может существенно увеличить потери элементов питания.

Структура приходной части баланса – показатель, характеризующий количество и долевое участие отдельных статей возмещения биогенных элементов в земледелии. В сумму приходной части баланса включается поступление биогенных элементов на сельскохозяйственные угодья через атмосферу, симбиотическая и несимбиотическая азотфиксация, использование органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов и др. При разработке систем удобрений следует стремиться иметь в структуре приходной части баланса экологически безопасных и экономически обоснованных статей. Большая доля минеральных удобрений в приходной части баланса снижает экологическую эффективность агротехнологий.

Емкостью баланса называют сумму расходной и приходной частей баланса элементов питания в агроценозах. В зависимости от количества статей баланса участвующих в расчетах выделяют два вида: **емкость биологического баланса** и

емкость хозяйственного баланса. Эти показатели характеризует объемы круговорота веществ – чем больше емкость баланса, тем выше интенсивность земледелия.

Интенсивность баланса – это отношение приходной части баланса элементов питания к их хозяйственному выносу. Интенсивности баланса менее 100 % характеризует дефицитный баланс, более 100 – положительный. На основе этого показателя формируются прогнозы по агроистощению или расширенному воспроизводству. Возможен расчет двух видов интенсивности баланса – **биологический и хозяйственный.**

На основе расчетов можно составить прогноз изменения плодородия почв по отдельным показателям в виде **деградации или расширенного воспроизводства.** Соответственно при этом необходимо предусмотреть проведение дополнительных агротехнических, агрохимических и мелиоративных мероприятий, позволяющих оптимизировать параметры плодородия почв и земель в целом. Оптимальные параметры плодородия почв приводятся в научной и производственной литературе в виде «**Моделей плодородия**» применительно к ландшафтной характеристике территории с учетом биологических свойств сельскохозяйственных культур (Почвоведение ..., 2008).

Основные показатели агроэкологической эффективности при производстве растениеводческой продукции приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели агроэкологической эффективности в агротехнологиях при применении агрохимикатов

Показатели эффективности	Единицы измерений
Динамики деградации или расширенного воспроизводства почв	
Изменение показателей плодородия почв по отдельным показателям за период наблюдений агрохимических свойств: - содержания подвижных форм биогенных элементов в пахотном слое - содержание гумуса в почве в пахотном слое - запас гумуса в почве - кислотности или щелочности в пахотном слое	Данные приводятся за период наблюдений и пересчитываются за 1 год или другой более короткий срок: $\text{мг/кг (млн.}^{-1}) \times \text{х лет}$ $\% \times \text{х лет}$ $\text{т/га} \times \text{х лет}$ $\text{ед. pH} \times \text{х лет}$

<ul style="list-style-type: none"> - емкости поглощения в пахотном слое - состава поглощенных оснований в пахотном слое - содержания токсичных веществ почве 	$\text{ммоль/100 г} \times \text{х лет}$ $\text{ммоль/100 г} \times \text{х лет; \% от ЕКО} \times \text{х лет}$ $\text{мг/кг (млн.}^{-1}) \times \text{х лет}$
Изменение показателей плодородия почв по отдельным показателям за период наблюдений: общих физических, водно-физических, физико-механических свойств и др.	В зависимости от единицы измерения показателя. Данные приводятся за период наблюдений и пересчитываются за 1 год или другой более короткий срок:

Продолжение таблицы 5

Показатели эффективности	Единицы измерений
<p>Норматив затрат агрохимикатов на поддержание бездефицитного уровня плодородия</p> <ul style="list-style-type: none"> - органических удобрений по видам (навоза, птичьего помета, соломы, сидератов и др.) или в пересчете на стандартный навоз - известковых мелиорантов - фосфорных удобрений дополнительно к выносу - калийных удобрений дополнительно к выносу 	$\text{т/га} \times \text{год}$ $\text{т CaCO}_3/\text{га} \times \text{год}$ $\text{кг P}_2\text{O}_5/\text{га} \times \text{год}$ $\text{кг K}_2\text{O}/\text{га} \times \text{год}$
<p>Норматив затрат агрохимикатов на расширенное воспроизводство плодородия почв</p> <ul style="list-style-type: none"> - органических удобрений по видам (навоза, птичьего помета, соломы, сидератов и др.) или в пересчете на стандартный навоз - известковых мелиорантов - фосфорных удобрений - калийных удобрений 	$\text{т/га} \times 0,1 \% \text{ гумуса}$ $\text{т CaCO}_3/\text{га} \times 0,1 \text{ pH}$ $\text{кг P}_2\text{O}_5/\text{га} \times 10 \text{ мг P}_2\text{O}_5/\text{кг}$ $\text{кг K}_2\text{O}/\text{га} \times 10 \text{ мг K}_2\text{O} / \text{кг}$
Баланс биогенных элементов в земледелии	
<p>Структура приходной части баланса (биологического или хозяйственного) биогенных элементов (по видам: азот, фосфор, калий, кальций, магний и др.), всего и по отдельным статьям:</p> <ul style="list-style-type: none"> - органические удобрения - минеральные удобрения - несимбиотическая азотфиксация - симбиотическая азотфиксация - ассоциативная азотфиксация - с семенами - с жидкими атмосферными осадками - другое 	кг/га $\text{кг/га; \% от общего.}$
<p>Структура расходной части баланса (биологического или хозяйственного) биогенных элементов (по видам: азот, фосфор, калий, кальций, магний и др.), всего и по отдельным статьям:</p> <ul style="list-style-type: none"> - хозяйственный вынос основной продукцией 	кг/га $\text{кг/га; \% от общего.}$

<ul style="list-style-type: none"> - хозяйственный вынос побочной продукцией - остаточный вынос - вымывание солей - эмиссия газов в атмосферу - эрозия почвы - другое 	
Емкость баланса по отдельным элементам питания (азот, фосфор, калий, кальций, магний и др.) <ul style="list-style-type: none"> - биологического - хозяйственного 	кг/га × год кг/га × год
Интенсивность баланса по отдельным элементам питания (азот, фосфор, калий, кальций, магний и др.)	%

Вопросы:

1. Дайте определение термину «Экологическая эффективность».
2. Перечислите показатели «Экологической эффективности».
3. Дайте определение термину «Природоохранная эффективность».
4. Перечислите показатели «Природоохранной эффективности».
5. Дайте определение термину «Агроэкологическая эффективность».
6. Перечислите показатели «Агроэкологической эффективности».
7. Перечислите показатели, по которым диагностируют деградацию почв.
8. Перечислите показатели, по которым диагностируют расширенное воспроизводство почв.
9. Перечислите показатели приходной части баланса биогенных элементов в земледелии.
10. Перечислите показатели расходной части баланса биогенных элементов в земледелии.

1.3 Энергетическая эффективность применения агрохимикатов в агротехнологиях

1.3.1 Энергетическая эффективность производства растениеводческой продукции при использовании агрохимикатов

Внедрение оптимальных систем управления энергетическими потоками в агроландшафтах является важнейшим условием устойчивости современного

сельскохозяйственного производства. Вновь разрабатываемые агротехнологии должны быть направлены на эффективное использование естественной солнечной и дополнительной антропогенной энергии при формировании биомассы сельскохозяйственных растений.

Расчеты энергетической эффективности являются более объективным методом оценки эффективности удобрений и мелиорантов, чем экономической. Это вызвано с тем, что стоимостные показатели агрохимикатов, произведённой продукции растениеводства меняются по годам, поэтому их можно использовать только для краткосрочного планирования. Особенность энергетического анализа заключается в том, что все количественные показатели (прибавка урожая сельскохозяйственных культур от агрохимикатов и статьи затрат на применение удобрений) выражаются в энергетическом эквиваленте. В настоящее время в расчетах принято использовать единицу изменения джоуль (Дж) – количество энергии, работы или теплоты в Международной системе единиц ($1 \text{ Дж} = 0,2388 \text{ кал}$). Более крупные единицы измерения энергии: 1 килоджоуль (КДж) = 10^3 джоулей, 1 гигаджоуль (ГДж) = 10^9 джоулей.

Анализ энергетической эффективности технологий в агроландшафтах следует проводить на этапе их планирования по технологическим картам, в процессе выполнения с целью корректировки и при завершении системы мероприятий по фактическим данным об урожайности и энергетических затратах на его производство.

Интенсификация земледелия с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур, как правило, сопровождается возрастающими энергозатратами в составе удобрений, пестицидов, топлива, средств механизации и т.д. К сожалению, при этом в структуре энергозатрат увеличивается доля невозобновляемой энергии. Основной целью инновационных агротехнологий является оптимизации энергетических потоков в земледелии, поиск перспективных, экологически безопасных агроприемов, обеспечивающих максимальное использование агроландшафтами естественных и антропогенных потоков энергии для эф-

фективного использования биопродуктивного потенциала сельскохозяйственных растений, воспроизводства и повышения плодородия почв.

Энергетический баланс в земледелии состоит из расходной и приходной частей. **Расходная часть энергетического баланса.** В этой части баланса следует выделить два типа энергетических затрат на производство – прямые и косвенные. Прямые энергозатраты представлены в виде расхода энергии: в результате деятельности механизаторов и вспомогательного персонала; в составе горючего и смазочных материалов (ГСМ) и других энергоносителей (уголь, торф, дрова); электроэнергии. К косвенным относят следующие энергозатраты: на изготовление, ремонт, обслуживание, хранение тракторов, автомобилей, сельскохозяйственных машин; производство и хранение органических и минеральных удобрений, пестицидов; производство посевного и посадочного материала и др.

На основе структуры энергозатрат проводят поиск альтернативных вариантов по улучшению энергетической эффективности агротехнологий. Например, замена механических способов борьбы с сорняками позволяет существенно снизить затраты энергии в виде ГСМ, почвообрабатывающих агрегатов.

Особенностью оценки энергетической эффективности использования в земледелии органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов является выделение в расходной части энергетического баланса двух подтипов – общий и активной. Это связано с продолжительным и постепенным расходом энергии, аккумулированной в агрохимикатах, на формирование урожая сельскохозяйственных культур.

Общий энергетический расход при использовании агрохимикатов. При расчете энергозатрат на применение минеральных удобрений рекомендуется использовать следующие энергетические эквиваленты (МДж/кг действующего вещества): азотные – 86,6; фосфорные – 12,6; калийные – 8,3; навоз (80 % влажности) – 0,42. Более точных значений применительно к определенным видам удобрений не разработаны. Например, затраты энергии на производство сульфата аммония, как отхода коксохимической промышленности, явно меньше, чем кар-

бамида. Энергоемкость многих удобрений в специальной справочной литературе не приводится. По этой причине расчеты энергетической эффективности агротехнологий являются приблизительными. Поэтому полученные расчетные результаты следует сравнивать лишь в составе конкретного опыта.

Активный энергетический расход при использовании агрохимикатов – это доля затрат энергии, использованная на применение в агротехнологиях удобрений и мелиорантов. Так при расчете этого показателя применительно к минеральным удобрениям учитываются следующие факторы: коэффициент использования элементов питания из почвы по годам, непроизводительные потери элемента питания или накопления его в почве. Например, фосфор из водорастворимых фосфорных удобрений в первый год растениями используется на 25 %, второй – 20 и третий – 15 %. В сумме за три года коэффициент использования составляет 60 %. Остальное количество фосфатов остается в почве и участвует в питании растений с коэффициентом использования 5-7 % в год. Потери этого элементов питания из почвы минимальны (при отсутствии существенной эрозии).

Энергетический баланс технологии рассчитывается как разность приходной и расходной частей. Технология считается эффективной при положительном значении показателя. Поэтому этот показатель часто называется «прирост энергии». В упрощенных расчетах в приходной части учитывается количество энергии лишь в основной и побочной продукции растениеводства.

Энергоемкость растениеводческой продукции зависит от их влажности и химического состава сухого вещества. В частности наибольшее количество потенциальной энергии имеют жиры, на втором месте белки, далее – углеводы. Считается, что сырая зола не способна освобождать дополнительную энергию. Таким образом, наиболее энергоемкими являются семена масличных культур, далее – бобовых. Овощные культуры характеризуются не только высокой влажностью, но и содержанием зольных веществ.

Основным показателем энергетической эффективности применения удобрений являются коэффициент энергетической эффективности. В последнее время в учебной и научной литературе приводится множество видов и соответственно и методик расчета энергетического коэффициента.

Коэффициент энергетической эффективности – это отношение энергии, содержащейся в урожае, к количеству энергии, затраченной на производство продукции. Его расчет производится по следующей формуле:

$$Q = \frac{\mathcal{E}_y}{\mathcal{E}_з} \quad (1)$$

где Q – коэффициент энергетической эффективности;

\mathcal{E}_y – количество энергии аккумулированной в урожае, ГДж;

$\mathcal{E}_з$ – общие энергетические затраты на производство продукции, ГДж.

Таблица 6 – Содержание общей энергии в растениеводческой продукции (Минеев В.Г., 1990)

Сельскохозяйственная культура и продукция	Сухое вещество, %	Энергоемкость растениеводческой продукции, ГДж/т	
		сухого вещества	при стандартной влажности
Пшеница озимая, (зерно)	86	19,13	16,45
Пшеница яровая мягкая (зерно)	86	19,31	16,61
Пшеница яровая твердая (зерно)	86	19,49	16,76
Рожь (зерно)	86	19,49	16,76
Ячмень (зерно)	86	19,13	16,45
Овес (зерно)	86	18,80	16,17
Просо (зерно)	86	19,70	16,94
Гречиха (зерно)	86	19,38	16,67
Рис (зерно)	86	18,59	15,99
Фасоль (зерно)	86	20,68	17,78
Горох (зерно)	86	20,57	17,69
Сорго (зерно)	86	18,34	15,77
Кукуруза (зерно)	86	17,60	15,14
Кукуруза (зеленая масса)	25	16,39	4,10
Лен-долгунец (волокно)	89	20,24	18,01
Лен-долгунец (семена)	88	23,50	20,68
Сахарная свекла	14	18,26	2,56
Подсолнечник (семена)	92	19,38	17,83
Подсолнечник (зеленая масса)	25	16,80	4,20

Соя (зерно)	88	20,57	18,10
Картофель	20	18,29	3,66
Овощи в среднем	10	14,36	1,44
Кормовые корнеплоды	25	16,39	4,10
Многолетние травы (на сено)	20	18,91	3,78
Лугопастбищные травы (на сено)	20	16,19	3,24
Зерновые (зеленая масса в пересчете на сено)	30	15,40	4,62

В агрохимических исследованиях следует использовать модифицированную методику расчета энергетической эффективности. Это связано с тем, что агрохимикаты существенно влияют на направление и потоки энергии в агроценозах. Так солнечная энергия, использованная в фотосинтезе растений, аккумулируется в агроценозах в составе нескольких объектов: основная и побочная растениеводческая продукция; пожнивные и корневые остатки; биота и органическое вещество почвы. Следовательно и коэффициент энергетической эффективности должен рассматривать применительно к объектам, в составе которых учитывается аккумулированная растениями энергия: хозяйственный, биологический, агроценозный.

Хозяйственный коэффициент энергетической эффективности – это отношение энергии, содержащейся в основной и побочной продукции растениеводства, к количеству энергии, затраченной на производство продукции.

Биологический коэффициент энергетической эффективности – это отношении энергии, содержащейся в основной, побочной продукции растениеводства и ПКО, к количеству энергии, затраченной на производство продукции.

Агроценозный коэффициент энергетической эффективности – это отношение энергии, содержащейся в основной, побочной продукции растениеводства, ПКО и ЛОВ, к количеству энергии, затраченной на производство продукции.

При совершенствовании базовых технологий следует определять **добавочный коэффициент энергетической эффективности**. Этот показатель рассчитывается как отношение энергии, содержащейся в прибавке урожая,

например, при известковании почв, к количеству энергии, затраченной на это мелиоративное мероприятие. Коэффициент энергетической эффективности больше единицы указывает на то, что мелиоранты и удобрения используются эффективно. Его расчет производится по следующей формуле:

$$Q_o = \frac{\mathcal{E}_{ny}}{\mathcal{E}_{dz}} \quad (2)$$

где Q_o – добавочный коэффициент энергетической эффективности;

\mathcal{E}_{ny} – количество энергии аккумулированной в прибавке урожая (основной и побочной продукции), ГДж;

\mathcal{E}_{dz} – дополнительные энергетические затраты на получение прибавки урожая, ГДж.

Они представлены затратами на производство, доставку, хранение, подготовку, транспортировку и внесение минеральных и органических удобрений, уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая за счет удобрений.

Для расчета добавочной энергетической эффективности можно использовать стандартный или упрощенный способы расчета. Так в Беларуси разработан метод, основанный уравнениях регрессий (Г.В. Василюк, И.М. Богдевич и др., 1996).

Накапливаемая в основной и побочной продукции растениеводства энергия оценивается в джоулях. Запас энергии в основной (хозяйственно ценной) продукции растениеводства с учетом побочной рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{ny} = (P_{ocn} \times \mathcal{E}_{ocn}) + (P_{поб} \times \mathcal{E}_{поб}) \quad (3)$$

где \mathcal{E}_{ny} – запас энергии в основной и побочной продукции, ГДж/га;

P_{ocn} – прибавка основной продукции от удобрений, т/га;

\mathcal{E}_{ocn} – количество энергии в 1 т основной продукции при учетной влажности (таблица 6), ГДж;

$P_{поб}$ – прибавка побочной продукции от удобрений, т/га;

$\mathcal{E}_{\text{поб}}$ – количество энергии в 1 т побочной продукции при учетной влажности (таблица 6), ГДж.

Общие затраты энергии при применении агрохимикатов суммируются из следующих показателей:

\mathcal{E}_y – энергозатрат на производство удобрений;

\mathcal{E}_B – энергозатрат погрузку, транспортировку и внесение удобрений;

\mathcal{E}_Π – энергозатрат на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая.

Энергозатраты на использование минеральных удобрений, связанные с их производством (\mathcal{E}_y , ГДж/га), рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E}_y = \frac{(D_N \times \mathcal{E}_N) + (D_P \times \mathcal{E}_P) + (D_K \times \mathcal{E}_K)}{1000} \quad (4)$$

где D_N, D_P, D_K – фактическая доза внесения соответственно азотных, фосфорных и калийных удобрений, кг д.в./га;

$\mathcal{E}_N, \mathcal{E}_P, \mathcal{E}_K$ – энергетические затраты на 1 кг д. в. азотных, фосфорных и калийных удобрений, МДж/га.

Затраты, связанные с подготовкой, погрузкой, транспортировкой и внесением минеральных удобрений,

$$\mathcal{E}_B = 171,4 + (8,0974 \times D) + (1,2954 \times P) + (2,804 \times D \times P) - (0,1553 \times P^2)$$

где \mathcal{E}_B – общие энергозатраты на подготовку, погрузку, транспортировку и внесение удобрений, МДж/га;

D – доза удобрений в физической массе, ц;

P – расстояние перевозки удобрений от склада до поля, км.

Энергозатраты на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая за счет удобрений приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Примерные энергозатраты на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая за счет удобрений

Культура, угодья	Вид продукции	Урожайность, т/га	Энергозатраты, ГДж/т
------------------	---------------	-------------------	----------------------

Озимые зерновые	Зерно	3-4	3,28
Яровые зерновые	Зерно	3-4	2,93
Лен-долгунец	Солома	3-4	1,93
Картофель	Клубни	15-25	0,79
Кормовые корнеплоды	Корнеплоды	60-80	0,40
Многолетние травы	Зеленая масса	17-25	0,35
Многолетние травы	Сено	4-6	0,93
Однолетние травы	Зеленая масса	16-20	0,39

Энергозатраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений приводятся в таблице 8.

Емкостью энергетического баланса называют сумму расходной и приходной частей баланса энергии в агроценозах. Как и при изучении экологической эффективности агротехнологий необходим расчет биологического и хозяйственного энергетического баланса.

Таблица 8 – Примерные средние энергозатраты на погрузку, транспортировку и внесение органических удобрений при разных технологиях внесения

Прямоточная		Перевалочная	
Доза внесения, т/га	Энергозатраты, ГДж/га	Доза внесения, т/га	Энергозатраты, ГДж/га
20	4,363	20	5,387
40	8,475	40	10,366
60	12,379	60	14,937

1.3.2 Энергетическая оценка гумусового состояния почв

Почва аккумулирует значительную часть полученной извне энергии, и, прежде всего, в составе органического вещества. Данный источник энергии является основным для биосинтетических реакций, микробиологических процессов. Учеными ведутся работы по выявлению не только количественных параметров энергетических реакций, но роль отдельных групп и фракций гумусовых веществ в формировании энергетического потенциала почвы.

В настоящее время только разрабатываются методологические подходы к энергетической оценке гумусового состояния почв. Ученые выделяют следующие направления оценки запаса энергии в составе органического вещества:

- 1) расчет теплот сгорания органических соединений по элементному составу;
- 2) по тепловому эффекту реакций гумусообразования и минерализации органического вещества;
- 3) по количеству энергии, необходимой для окисления органического вещества хромовой смесью;
- 4) по энергетическим характеристикам растительного опада, промежуточных и конечных продуктов гумификации;
- 5) по теплоте сгорания различных групп и форм органических веществ.

При расчете энергоемкости гумусовых веществ почвы в расчетах следует использовать следующие теплоты сгорания для дерново-подзолистых почв в ГДж/т: гуминовые кислоты – 17,17; фульвокислоты – 10,05; гумин – 18,88. На основе приведенных выше показателей энергоемкости и группового состава гумуса дерново-подзолистой почвы можно рассчитать его энергозапас. По нашим расчетам в среднем гумус дерново-подзолистых суглинистых почв имеет теплоту сгорания 15,8 ГДж/т. Основная часть энергии в составе органического вещества почвы содержится в составе гумина (47,2 %). Наименьшее количество энергии аккумулируется в составе фульвокислот – 18,4 %.

Энергоемкость лабильного органического вещества почвы, извлеченного 0,1 н NaOH составляет для дерново-подзолистых почв в среднем 13,17 ГДж/т, что значительно ниже по сравнению с общим органическим веществом почвы.

В качестве примера приводятся результаты расчетов влияния систем удобрений на энергоемкость гумусовых веществ по данным А.А. Юскина и В.И. Макарова (таблица 9 и 10).

Таблица 9 – Теплота сгорания общего органического вещества (гумуса) дерново-подзолистой почвы

Вариант	Групповой состав гумуса, %			Энергоемкость гумуса, ГДж/т			
	ГК	ФК	гумин	ГК	ФК	гумин	всего
1. Без удобрений (к)	33,1	26,3	40,6	5,68	2,64	7,67	15,99
2. NPK	32,2	30,1	37,7	5,53	3,03	7,12	15,67
3. Известь	30,1	29,0	40,9	5,17	2,91	7,72	15,80
4. Известь + NPK	31,1	32,3	36,6	5,34	3,25	6,91	15,50

5. Известь + навоз 40т/га	32,8	25,0	42,2	5,63	2,51	7,97	16,11
6. Известь + навоз 40т/га + NPK	32,4	31,4	36,2	5,56	3,16	6,83	15,55
7. Известь + навоз 20т/га + NPK	29,7	28,0	42,3	5,10	2,81	7,99	15,90
Среднее				5,43	2,90	7,46	15,79

С уменьшением доли фульвокислот в составе гумуса энергоемкость органического вещества почвы возрастает.

При расчете запаса энергии в составе органического вещества необходимо иметь сведения о запасе гумуса в метровом слое и его групповом составе. Результаты можно представить в виде таблицы 10.

Таблица 10 – Влияние систем удобрения на запас энергии в составе гумуса в профиле дерново-подзолистой суглинистой почвы, ГДж/га (Учхоз «Июльское», 2008)

Вариант	Запас энергии в ООВ ГДж/га, в слое почвы (см)				
	0-20	20-40	40-60	60-100	0-100
1. Без удобрений (к)	656	333	112	225	1326
2. NPK	744	391	147	221	1503
3. Известь	732	325	94	162	1313
4. Известь+NPK	804	451	127	192	1575
5. Известь+навоз 40т/га	742	364	128	205	1439
6. Известь+навоз 40т/га +NPK	841	554	111	259	1765
7. Известь+навоз 20т/га +NPK	801	421	125	205	1552

Аналогичным образом оформляется таблица 11 и по запасам энергии в лабильном органическом веществе почв.

Таблица 11 – Влияние систем удобрения на запас энергии в лабильном органическом веществе в профиле дерново-подзолистой суглинистой почвы, ГДж/га (Учхоз «Июльское», 2008)

Вариант	Запас энергии в ЛОВ ГДж/га, в слое почвы (см)				
	0-20	20-40	40-60	60-100	0-100
1. Без удобрений (к)	186	113	33	60	393
2. NPK	224	144	34	67	469
3. Известь	131	69	30	50	280
4. Известь+NPK	210	119	32	58	418
5. Известь+навоз 40т/га	174	82	32	52	340
6. Известь+навоз 40т/га +NPK	213	166	31	62	473
7. Известь+навоз 20т/га +NPK	203	133	37	47	420

Система показателей энергетической эффективности агротехнологий приведена в таблице 12.

Таблица 12 – Показатели энергетической эффективности агротехнологий

Показатели эффективности	Единицы измерений
Структура расходной части энергетического баланса, всего и по отдельным статьям: - посевной (посадочный) материал - тракторы, сельскохозяйственные орудия и машины - ГСМ - электроэнергия - энергозатраты механизаторов и рабочих - минеральные удобрения - органические удобрения - пестициды	ГДж/га; % от общего.
Окончание таблицы 12	
Показатели эффективности	Единицы измерений
Структура приходной части энергетического баланса (приход валовой энергии), всего и по отдельным статьям: - основная продукция - побочная продукция - пожнивные и корневые остатки - сорные растения - почва (гумус)	ГДж/га ГДж/га; % от общего.
Энергетический баланс технологии	ГДж/га
Емкость энергетического баланса (биологического и хозяйственного)	ГДж/га
Приход ФАР	ГДж/га
Коэффициент использования растениями ФАР	%
Коэффициент энергетической эффективности - хозяйственный - биологический - агроценозный	
Добавочный коэффициент энергетической эффективности	
Энергоемкость гумусовых веществ почв в целом, и по фракциям - лабильное органическое вещество - гуминовые кислоты - фульвокислоты - гумин	ГДж/т

Вопросы:

1. Дайте определение термину «Энергетическая эффективность технологий».
2. Перечислите показатели «Энергетической эффективности технологий».
3. Перечислите показатели структуры расходной части энергетического баланса.

4. Перечислите показатели структуры приходной части энергетического баланса.
5. По каким критериям устанавливают энергетическую эффективность технологий производства растениеводческой продукции.
6. Сущность методики расчета энергоемкости гумусовых веществ почв.

1.4 Экономическая оценка применения агрохимикатов

При разработке прогрессивных ресурсосберегающих приемов и технологий применения минеральных и органических удобрений, химических мелиорантов важна комплексная их оценка, в том числе и экономической эффективности. Применение агрохимикатов удобрений при производстве растениеводческой продукции должно быть обязательно экономически обосновано. Анализ экономической эффективности применения удобрений позволяет выявить резервы ее повышения в условиях сельскохозяйственного производства – рассчитывать наиболее эффективные дозы в денежном выражении.

Экономическая эффективность определяется путем сравнения производства продукции с применением агрохимикатов и без их применения на основе таких показателей, как выход продукции на единицу примененных удобрений, себестоимость продукции, чистый доход и рентабельность производства. Экономическая эффективность минеральных удобрений рассчитывается на основе технологических карт возделывания сельскохозяйственных культур. В расчетах учитываются фактические или планируемые показатели урожайности при разных годовых дозах удобрений.

Таким образом, в системе показателей при расчете экономической эффективности производства отдельных видов растениеводческой продукции используются две статьи экономического баланса.

Приходная часть баланса. Оценивается по выручке от реализации полученной растениеводческой продукции. При этом учитывается стоимость как основной, так и побочной продукции. Реализуемая продукция растениеводства обязательно должна соответствовать требованиям стандартов. Дополнительно

при оценке экономической эффективности выращивания сельскохозяйственных культур учитывается качество полученной продукции, которое может существенно оказывать на цену ее реализации. В этом случае полученная продукция может быть разделена на несколько товарных классов. Например, произведенная партия бункерного зерна делится на следующие группы: 1) усушка; 2) неиспользуемый отход; 3) используемый отход (на кормовые цели); 4) зерно продовольственное (или семенное). Понятно, что «используемый отход» имеет меньшую реализационную цену по сравнению с продовольственным и семенным зерном. В данном случае общую выручку устанавливают с учетом доли отдельных видов продукции.

Расходная часть баланса представлена материально-денежными затратами по отдельным статьям в расчете на единицу площади. Структура затрат на производство растениеводческой продукции (возделывание, уборку, хранение и подработку) включает:

- **трудовые** – оплату труда механизаторов и вспомогательных рабочих с начислениями;
- **материальные ресурсы** – горюче-смазочные материалы, семена и посадочный материал, удобрения, пестициды энергозатраты;
- **использование основных фондов, доля общехозяйственных затрат и другое** – амортизация основных средств, затраты на текущий ремонт, страховые платежи, прочие прямые затраты, общепроизводственные и общехозяйственные расходы.

На основе указанных данных рассчитываются различные **экономические показатели**:

- производство растениеводческой продукции с указанием соответствия требованиям стандартов, т/га;
- цена реализации, тыс. руб./т;
- выручка, тыс. руб./га;
- всего производственных затрат, тыс. руб./га;

- производственные затраты по отдельным статьям, тыс. руб./га;
- чистый доход, тыс. руб./га;
- себестоимость, тыс. руб./т;
- уровень рентабельности, %.

Следует отметить, что показателями экономической эффективности применения удобрений являются и другие показатели:

- дополнительный чистый доход при использовании агрохимикатов, тыс. руб./га;
- дополнительный чистый доход на каждый рубль производственных затрат, руб.;
- дополнительный чистый доход на единицу внесенных удобрений, руб./ кг (т).

При расчете экономической эффективности применения агрохимикатов необходимо определить дополнительные затраты, связанные с их применением. Затраты на получение прибавки урожая от минеральных и органических удобрений (Z_{Π} , руб./га) рассчитываются по формуле:

$$Z_{\Pi} = Z_{NPK} + Z_{OU} + Z_{исп.NPK} + Z_{исп.OU} + Z_{уб.} + Z_{OXP} \quad (5)$$

где: Z_{NPK} – расходы на приобретение минеральных удобрений;

Z_{OU} – расходы на производство и хранение органических удобрений;

$Z_{исп.NPK}$ – расходы на доставку, временное хранение, погрузку, перевозку в поле и внесение минеральных удобрений;

$Z_{исп.OU}$ – расходы на погрузку, перевозку в поле и внесение органических удобрений;

$Z_{уб.}$ – расходы на уборку, перевозку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученной за счет удобрений;

Z_{OXP} – общехозяйственные и другие расходы.

Чистый доход ($Ч_{Д}$) рассчитывают по разности между стоимостью прибавки (C_{Π}) урожая за счет внесения удобрений и затратами (Z_o) на ее получение по формуле:

$$\mathcal{C}_\mathcal{D} = C_n - \mathcal{Z}_o \quad (6)$$

На основании чистого дохода можно рассчитать доход, полученный на 1 рубль затрат, связанных с применением органических или минеральных удобрений. Для этого чистый доход делится на затраты для получения прибавки урожая от удобрений. При умножении полученной величины на 100 можно получить рентабельность (Р, %) от применения агрохимикатов

$$P = \frac{\mathcal{C}_\mathcal{D} \times 100}{\mathcal{Z}_o} \quad (7)$$

Чистый доход на 1 кг NPK определяется делением соответствующей доли условного чистого дохода с гектара посева на дозу внесения минеральных удобрений (NPK), а условный чистый доход на 1 т органических удобрений – делением оставшейся доли условного чистого дохода с гектара посева на дозу внесенных органических удобрений.

2 РАСЧЕТ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И АГРОХИМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

2.1 Общие агротехнологические и агрохимические показатели эффективности

Расчет учетной урожайности на основе бункерной. Урожайность очищенного от сорной примеси зерна при фактической влажности ($Y_{\text{ч}}$, т/га) рассчитывается по формуле

$$Y_{\text{ч}} = \frac{Y_{\text{б}} \times \text{Ч}}{100} \quad (8)$$

где: $Y_{\text{б}}$ – урожайность зерна после уборки зерноуборочным комбайном (урожайность бункерная), т/га;

Ч – чистота бункерного зерна, %.

Чистота бункерного зерна (Ч, %) рассчитывается по формуле

$$\text{Ч} = \frac{m_1 \times 100}{m_2} \quad (9)$$

где: m_1 – масса сорной примеси в образце, г;

m_2 – общая масса образца, г.

Урожайность зерна в пересчете на стандартную влажность, так называемая «учетная (стандартная, амбарная)» ($Y_{\text{ст}}$, т/га) рассчитывается по формуле

$$Y_{Cm} = \frac{Y_{\text{ч}} \times (100 - W_1)}{(100 - W_2)} \quad (10)$$

где: $Y_{\text{ч}}$ – урожайность очищенного от сорной примеси зерна при фактической влажности (урожайность очищенного зерна), т/га;

W_1 – фактическая влажность зерна, %;

W_2 – стандартная влажность зерна, %.

Таблица 13 – Влияние форм азотных удобрений на урожайность зерна ячменя. (пример оформления результатов).

Вариант	Урожайность бункерная, т/га	Чистота, %	Урожайность очищенного зерна, т/га	Влажность зерна, %	Урожайность учетная, т/га
повторность 1					
1. Без удобрений (К1)	2,18	97,1	2,12	13,5	2,13
2. P60K60 (К2)	2,39	95,2	2,28	13,6	2,29
3. P60K60Naa60	3,72	93,2	3,47	16,9	3,35
4. P60K60Nm60	3,54	94,6	3,35	16,5	3,25
повторность 2					
1. Без удобрений (К1)	3,72	93,2	3,47	16,9	3,35
...

Расчет урожайности (средней урожайности) по вариантам на основе данных по повторностям. При расчете урожайности по вариантам (Y , т/га) используется среднеарифметическое значение по повторностям.

$$Y = \frac{(Y_{Cm1} + Y_{Cm2} + Y_{Cm3} + Y_{Cm4})}{4} \quad (11)$$

где: Y_{Cm1} ; Y_{Cm2} ; Y_{Cm3} ; Y_{Cm4} – урожайность зерна по повторностям варианта опыта, т/га;

4 – число повторностей в варианте опыта, %.

Для оценки вариабельности значений по повторностям рассчитывается коэффициент вариации (V , %).

Таблица 14 – Влияние форм азотных удобрений на урожайность зерна ячменя. Среднее. (пример оформления результатов).

Вариант	Урожайность учетная по повторностям, т/га				Коэффициент вариации, %	Урожайность по варианту, т/га
	1	2	3	4		
1. Без удобрений (K1)	2,13	2,26	2,06	1,84	7,56	2,06
2. P60K60 (K2)	2,29	2,35	2,24	2,29	5,52	2,24
3. P60K60Naa60	3,35	3,65	3,36	3,48	7,81	3,36
4. P60K60Nm60	3,25	2,54	3,10	3,26	12,56	3,10

Считается, что если V не превышает 10 % – изменчивость незначительна; 10-20 % – средняя изменчивость; более 20 % – значительная. В приведенном примере урожайность по делянкам в вариантах 1-3 варьировала незначительно, в четвертом – установлена средняя изменчивость. Следовательно, можно рассчитывать среднюю урожайность по всем вариантам.

Если расчетами установлено, что коэффициент вариации в одном из вариантов превышает 20 %, то следует установить причину сильной изменчивости. В этом случае, как правило, один из результатов в выборке сильно отличается от средней. Наиболее характерными примерами являются: ошибочная запись исходного значения при проведении расчетов, не учтена площадь выключки. Возможно это ошибка не установленной причины. В том случае этот сомнительный результат бракуют или проводят восстановление результата рекомендуемыми методами математической статистики.

Расчет продуктивности по вариантам с учетом урожайности основной и побочной продукции. В производственных условиях и в научных целях наряду с урожайностью сельскохозяйственных культур рассчитывается и продуктивность. Для этого необходима информация по урожайности основной и побочной продукции в пересчете на учетную урожайность. Если урожайность основной продукции по вариантам опыта обязательно устанавливается в результате экспериментов, то побочной – допускается и расчетно. Для этого используются показатели соотношения «основная продукция : побочная продукция» приведенные в справочной литературе. Тем не менее, в агрохимических исследованиях приемлемым является учетный метод определения биомассы побочной продукции. Дело в том что изменение питания растений при использовании удобрений существ-

венно влияет на соотношение «основная продукция : побочная продукция». Так, недостаточное минеральное питание зерновых культур сопровождается снижением доли зерна в общей биомассе растения. По этой причине

Продуктивность зерновых культур (ЗЕд, тыс. зерн. ед.) рассчитывается по формуле

$$ЗЕд = (Y_{Осн} \times K_1) + (Y_{Поб} \times K_2) \quad (12)$$

где: $Y_{Осн}$ – урожайность основной продукции в среднем по варианту, т/га;

K_1 – коэффициент перевода основной продукции в зерновые единицы;

$Y_{Поб}$ – урожайность побочной продукции в среднем по варианту, т/га;

K_2 – коэффициент перевода побочной продукции в зерновые единицы.

Таблица 15 – Влияние форм азотных удобрений на продуктивность зерна ячменя (пример оформления результатов).

Вариант	Урожайность, т/га		Продуктивность, тыс. зерн. ед./га	Соотношение «основная продукция : побочная продукция»
	зерна	соломы		
1. Без удобрений (К1)	2,06	2,78	2,76	1 : 1,35
2. P60K60 (К2)	2,24	2,77	2,93	1 : 1,24
3. P60K60Naa60	3,36	3,11	4,14	1 : 0,93
4. P60K60Nm60	3,10	3,02	3,86	1 : 0,97

Расчет прибавки урожайности от минеральных удобрений. Прибавка урожайности ($П_{ур}$, т/га) рассчитывается по формуле

$$П_{ур} = Y_v - Y_K \quad (13)$$

где: Y_v – урожайность по удобренному фону, т/га;

Y_K – урожайность в контрольном варианте (без удобрений или фоновое внесение удобрений), т/га.

Прибавку урожайности можно представить в относительных единицах – процентах. Расчеты показателя ($П_{ур\%}$, %) выполняются по формуле

$$П_{ур\%} = \frac{Y_{Пр} \times 100}{Y_K} \quad (14)$$

где: $U_{\text{пр}}$ – прибавка урожайности по удобренному фону, т/га;

$U_{\text{к}}$ – урожайность в контрольном варианте (без удобрений или фоновое внесение удобрений), т/га.

Таблица 16 – Влияние форм азотных удобрений на урожайность и прибавку урожайности зерна ячменя (пример оформления результатов).

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка урожайности			
		к К1, т/га	к К2, т/га	к К1, %	к К2, %
1. Без удобрений (К1)	2,06	–	–	–	–
2. Р60К60 (К2)	2,24	0,22	–	10,7	–
3. Р60К60Наа60	3,36	1,30	1,12	63,1	50,0
4. Р60К60Nм60	3,10	1,04	0,86	50,5	38,4
НСР ₀₅	0,30				

Аналогичным образом проводят прибавку урожайности в пересчете на продуктивность.

Расчет долевого участия удобрений в формировании урожая. Долевое участие удобрений в формировании урожая – это прибавка урожайности основной или побочной продукции (или продуктивности) при использовании агрохимикатов выраженная в относительных единицах – процентах (%).

Расчет показателя ($\Pi_{\text{NPK}\%}$, %) проводится по формуле

$$\Pi_{\text{NPK}\%} = \frac{U_{\text{пр}} \times 100}{U} \quad (15)$$

где: U – урожайность по удобренному фону, т/га;

$U_{\text{пр}}$ – прибавка урожайности по удобренному фону, т/га.

Эффективность комплексных удобрений (двойных и тройных) можно оценить разностным методом. Так, по проведенному ниже примеру, в контрольном варианте (К2) фоном вносится **РК** удобрение, а в опытных – дополнительно **N**. В этих вариантах долевое участие **РК** определяется по формуле

$$\Pi_{\text{PK}\%} = \Pi_{\text{NPK}\%} - \Pi_{\text{N}\%} \quad (16)$$

где: $\Pi_{\text{PK}\%}$ – долевое участие фосфорно-калийных удобрений в формировании урожайности, %;

$\Pi_{\text{NPK}\%}$ – долевое участие азотных-фосфорно-калийных удобрений в формировании урожайности, %;

$\Pi_{\text{N}\%}$ – долевое участие азотных удобрений в формировании урожайности, %.

Таблица 17 – Влияние форм азотных удобрений на урожайность и прибавку урожайности зерна ячменя (пример оформления результатов).

Вариант	Урожайность, т/га	Долевое участие удобрений, %		
		NPK	N	PK
1. Без удобрений (K1)	2,06	–	–	–
2. P60K60 (K2)	2,24	–	–	9,82
3. P60K60Naa60	3,36	38,69	33,33	5,36
4. P60K60Nm60	3,10	33,55	27,74	5,81

Расчет окупаемости минеральных удобрений. Расчет оплаты удобрений урожаем (O_y , кг/кг) зерна рассчитывается по формуле

$$O_y = \frac{Y_{\text{Пр}} \times 1000}{D_{\text{NPK}}} \quad (17)$$

где: $Y_{\text{Пр}}$ – прибавка урожайность по удобренному фону, т/га;

1000 – коэффициент перевода прибавки урожайности с т/га на кг/га;

D_{NPK} – доза минерального удобрения, кгNPK/га.

В случае, если используется несколько видов минеральных удобрений (NPK), в расчетах используется их сумма. Например, при дозе P60K60Naa60 суммарное количество элементов питания составляет 180 кг/га. При изучении отдельных видов удобрений на фоне других, доза устанавливается разностным методом. Например, в варианте с трехвидовым удобрением P60K60Naa60 возможно установление окупаемости азотных удобрений в дозе 60 кг/га в сравнении с вариантом P60K60.

Таблица 18 – Влияние форм азотных удобрений на урожайность и оплату удобрений урожайностью зерна ячменя (пример оформления результатов).

Вариант	Урожайность, т/га	Доза удобрений, кг/га		Оплата удобрений урожаем зерна, кг/кг	
		всего	N	всего	N
1. Без удобрений (K1)	2,06	0	–	–	–
2. P60K60 (K2)	2,24	120	–	–	–
3. P60K60Naa60	3,36	180	60	7,22	18,7

4. P60K60Nm60	3,10	180	60	5,78	14,3
---------------	------	-----	----	------	------

Следует отметить, что оплата удобрений урожаем рассчитывается, если достоверная прибавка урожайности в этом варианте.

Таблица 19 – Влияние форм азотных удобрений на урожайность и оплату удобрений урожайностью зерна ячменя (пример оформления результатов).

Вариант	Продуктивность, тыс. зерн. ед./га	Доза удобрений, кг/га		Оплата удобрений уро- жаем зерна, зерн. ед./кг	
		всего	N	всего	N
1. Без удобрений (K1)	2,76	0	–	–	–
2. P60K60 (K2)	2,93	120	–	1,42	
3. P60K60Naa60	4,14	180	60	7,67	20,17
4. P60K60Nm60	3,86	180	60	6,11	15,50

Аналогичным образом проводят расчеты оплаты удобрений урожаем основной и побочной продукции в пересчете на продуктивность.

2.2 Специальные агрохимические показатели эффективности

Затраты удобрений на производство продукции растениеводства. Этот показатель характеризует количество используемых удобрений на единицу произведенной растениеводческой продукции. Расчет затрат на производство продукции растениеводства (Z_y , кг/т) проводится по формуле

$$Z_y = \frac{D_{NPK} \times 1000}{Y} \quad (18)$$

где: Y – урожайность по удобренному фону, т/га;

1000 – коэффициент перевода прибавки урожайности с т/га на кг/га;

D_{NPK} – доза минерального удобрения, кгNPK/га.

Таблица 20 – Влияние форм азотных удобрений на урожайность и оплату удобрений урожайности зерна ячменя (пример оформления результатов).

Вариант	Урожайность, т/га	Доза удобрений, кг/га	Затраты удобрений на производство зерна, кг/т
1. Без удобрений (K1)	2,06	0	–
2. P60K60 (K2)	2,24	120	53,6
3. P60K60Naa60	3,36	180	53,6
4. P60K60Nm60	3,10	180	58,1

Расчет содержания (концентрации) элементов питания и органических веществ в растениеводческой продукции. В агрономических исследованиях обязательно определяется химический состав произведенной растениеводческой продукции. Во-первых, регулирование питания растений при использовании удобрений сопровождается изменением содержания органических и минеральных веществ, характеризующих качество продукции. Во вторых, концентрация элементов питания в основной и побочной продукции используется для расчета многих показателей агрохимической эффективности удобрений: хозяйственный и нормативный вынос, коэффициент использования элементов питания из удобрений и почв.

В расчетах используются результаты анализа растениеводческой продукции, выполняемые испытательными лабораториями по определенным методикам. Как правило, эти лаборатории предоставляют результаты в пересчете абсолютно сухую массу исследуемых образцов. Полученные результаты следует пересчитывать на стандартную влажность продукции (основной или побочной).

В качестве примера приводится расчет содержания (массовой доли) белка в зерне ячменя ($X_{CтW}$, %) при стандартной влажности

$$X_{CmW} = \frac{X_{0W} \times 100}{(100 - W_{Cm})} \quad (19)$$

где: X_{0W} – содержание (массовая доля) белка в зерне в пересчете на абсолютно сухую навеску, %;

$W_{Cт}$ – стандартная влажность продукции, %.

Аналогичным образом выполняются расчеты и по другим показателям.

Химический состав растениеводческой продукции следует выполнять в образцах, отобранных во всех повторностях варианта и опыта. Это необходимо для расчета достоверности изменения химического состава продукции от агротехнических приемов. Если установлена достоверная разница в значениях по вариантам опыта, проводится расчет прибавок. Для этого используются формулы,

приведенные выше применительно к урожайности сельскохозяйственных культур.

Таблица 21 – Влияние форм азотных удобрений на содержание белка в зерне яровой пшеницы (пример оформления результатов).

Вариант	Содержание белка в зерне, %		Прибавка белка		Прибавка белка на 1 кг NPK	
	W 0 %	W 14 %	к K1, %	к K2, %	к K1, %	к K2, %
1. Без удобрений (K1)	12,9	11,1	–	–	–	–
2. P60K60 (K2)	14,2	12,2	1,1		0,009	–
3. P60K60Naa60	15,8	13,6	2,5	1,4	0,014	0,023
4. P60K60Nm60	16,5	14,2	3,1	2,0	0,017	0,033
НСР ₀₅		1,3				

Расчет сбора полезных компонентов растениеводческой продукцией.

Сельскохозяйственные культуры выращиваются по определенному целевому назначению. В таблице приведены самые важные показатели качества определенных видов производимой продукции.

Таблица 22 – Растениеводческая продукция и показатели качества, по которым рассчитывается сбор

Продукция по назначению	Показатель	
	основной	дополнительный
Пшеница продовольственная	Сырая клейковина	Белок
Озимая рожь продовольственная		Белок
Ячмень продовольственный		Белок
Ячмень пивоваренный	Крахмал	
Зерно кормовое	Сырой протеин	БЭВ
Рапс, горчица, лен	Сырой жир	Белок или сырой протеин
Картофель	Крахмал	Белок
Зеленые корма	Сырой протеин	БЭВ

Расчет сбора белка урожаем ($C_{Бл}$, т/га) рассчитывается по формуле

$$C_{Бл} = \frac{Y \times X_{CmW}}{100} \quad (20)$$

где: Y – урожайность ячменя в пересчете на учетную массу, т/га;

X_{CmW} – содержание (массовая доля) белка в зерне в пересчете на стандартную влажность, %.

Таблица 23 – Влияние форм азотных удобрений на сбор белка в зерне яровой пшеницы (пример оформления результатов).

Вариант	Сбор белка, кг/га	Прибавка сбора белка	
		к К1, %	к К2, %
1. Без удобрений (К1)	0,23	–	–
2. P60K60 (К2)	0,27	0,045	–
3. P60K60Naa60	0,46	0,228	0,184
4. P60K60Nm60	0,44	0,212	0,167

Хозяйственный вынос элементов питания. Хозяйственный вынос элементов питания – это количество элементов питания, содержащееся в составе основной и побочной продукции и отчуждаемое с земельного угодья в составе растениеводческой продукции. Расчет хозяйственного выноса элементов питания (BX_{NPK} , кг/га) проводится в несколько этапов по формулам

$$BX_{OchNPK} = (Y_{Och} \times X_{OchCmNPK}) \times 10 \quad (21)$$

где: BX_{OchNPK} – хозяйственный вынос N, P или K основной продукцией, кг/га;

Y_{Och} – урожайность основной продукции (при стандартной влажности), т/га;

$X_{OchCmNPK}$ – содержание (концентрация) в основной продукции (при стандартной влажности) N, P или K, %.

Если наряду с основной продукцией ведется уборка и побочной продукции, производится расчет хозяйственного выноса для этой продукции.

$$BX_{PobNPK} = (Y_{Pob} \times X_{PobCmNPK}) \times 10 \quad (22)$$

где: BX_{PobNPK} – хозяйственный вынос N, P или K побочной продукцией, кг/га;

Y_{Pob} – урожайность побочной продукции (при стандартной влажности), т/га;

$X_{PobCmNPK}$ – содержание (концентрация) в побочной продукции (при стандартной влажности) N, P или K, %.

Общий хозяйственный вынос элементов питания основной и побочной продукцией (BX_{NPK} , кг/га) проводится по формуле

$$BX_{NPK} = X_{OchCmNPK} + X_{PobCmNPK} \quad (23)$$

где: BX_{OCHNPK} – хозяйственный вынос N, P или K основной продукцией, кг/га;

$BX_{ПобNPK}$ – хозяйственный вынос N, P или K побочной продукцией, кг/га.

Дополнительно выполняются расчеты закономерности изменения в общем хозяйственном выносе доли основной и побочной продукции. Результаты можно представить в виде соотношения или в процентах от общего хозяйственного выноса.

Таблица 24 – Влияние форм азотных удобрений на урожайность и оплату удобрений урожайности зерна ячменя (пример оформления результатов).

Вариант	Элемент	Урожайность, т/га		Содержание элемента в		Хозяйственный вынос, кг/га			Соотношение выноса «зерно : солома»
		зерна	соломы	зерне	соломе	зерном	соломой	все-го	
1. Без удобрений (K1)	N	2,06	2,78	1,78	0,45	36,7	12,5	49,2	1 : 0,34
	P ₂ O ₅	2,06	2,78	0,81	0,18	16,7	5,0	21,7	1 : 0,30
	K ₂ O	2,06	2,78	0,52	1,05	10,7	29,2	39,9	1 : 2,72
2. P60K60 (K2)	N	2,24	2,77	1,95	0,42	43,7	11,6	55,3	1 : 0,27
	P ₂ O ₅	2,24	2,77	0,86	0,24	19,3	6,6	25,9	1 : 0,35
	K ₂ O	2,24	2,77	0,55	1,15	12,3	31,9	44,2	1 : 2,59
3. P60K60Naa60	N	3,36	3,11	2,18	0,58	73,2	18,0	91,3	1 : 0,25
	P ₂ O ₅	3,36	3,11	0,85	0,21	28,6	6,5	35,1	1 : 0,23
	K ₂ O	3,36	3,11	0,55	1,13	18,5	35,1	53,6	1 : 1,90
4. P60K60Nm60	N	3,10	3,02	2,27	0,56	70,4	16,9	87,3	1 : 0,24
	P ₂ O ₅	3,10	3,02	0,84	0,21	26,0	6,3	32,4	1 : 0,24
	K ₂ O	3,10	3,02	0,54	1,12	16,7	33,8	50,6	1 : 2,02

Нормативный вынос элементов питания. Нормативный вынос – это хозяйственный вынос, рассчитанный на массу основной продукции, с учетом соответствующего количества побочной продукции. Расчет хозяйственного выноса элементов питания (BH_{NPK} , кг/т) проводится по формуле

$$BH_{NPK} = \frac{BX_{NPK}}{Y_{OCH}} \quad (24)$$

где: BX_{NPK} – хозяйственный вынос N, P или K (основной продукцией с учетом побочной), кг/га;

Y_{OCH} – урожайность основной продукции (при стандартной влажности), т/га.

Таблица 25 – Влияние форм азотных удобрений на урожайность и оплату удобрений урожайности зерна ячменя (пример оформления результатов).

Вариант	Нормативный вынос, кг/т				Соотношение в выносе, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	всего	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений (K1)	23,9	10,5	19,4	53,8	44,4	19,5	36,1
2. P60K60 (K2)	24,7	11,6	19,7	56,0	44,1	20,7	35,2
3. P60K60Naa60	27,2	10,4	16,0	53,6	50,7	19,4	29,9
4. P60K60Nm60	28,2	10,4	16,3	54,9	51,4	18,9	29,7

Коэффициент возмещения выноса элементов питания. Коэффициент возмещения выноса питательных элементов (KBB_{NPK}) рассчитывают делением дозы элемента питания в составе удобрения на хозяйственный вынос элемента питания. Расчеты показателя проводятся по формуле

$$KBB_{NPK} = \frac{D_{NPK}}{BX_{NPK}} \quad (25)$$

где: D_{NPK} – доза минерального удобрения, кгNPK/га;

BX_{NPK} – хозяйственный вынос N, P или K (основной продукцией с учетом побочной), кг/га.

Таблица 26 – Влияние форм азотных удобрений на урожайность и оплату удобрений урожайности зерна ячменя (пример оформления результатов).

Вариант	Хозяйственный вынос, кг/га			Доза удобрений, кг/га			Коэффициент возмещения выноса		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений (K1)	49,2	21,7	39,9	–			–		
2. P60K60 (K2)	55,3	25,9	44,2	–	60	60	–	2,32	1,36
3. P60K60Naa60	91,3	35,1	53,6	60	60	60	0,66	1,71	1,12
4. P60K60Nm60	87,3	32,4	50,6	60	60	60	0,69	1,85	1,19

Коэффициент использования элементов питания из почвы. Коэффициент использования элементов питания из почвы (KIP_{NPK} , %) – это массовая доля запаса подвижной формы макро- или микроэлемента, использованная растением

для питания за 1 вегетационный период. Расчеты показателя проводятся по формуле

$$КИП_{NPK} = \frac{M_{NPK} \times 100}{BX_{NPK}} \quad (26)$$

где: M_{NPK} – запас подвижных формы элементов питания в почве (N, P или K), кг/га;

BX_{NPK} – хозяйственный вынос N, P или K (основной продукцией с учетом побочной), кг/га.

Запас элементов питания в почве (M_{NPK} , кг/га) рассчитывается по следующей формуле

$$M_{NPK} = ЭП_{NPK} \times h \times d \times 10 \quad (27)$$

где: $ЭП_{NPK}$ – содержание подвижной формы элемента питания в почве, мг/кг;

h – глубина пахотного слоя почвы, м;

d – плотность пахотного слоя почвы, г/см³.

Таблица 27 – Коэффициент использования элементов питания из почвы. Равновесная плотность почвы 1,25 г/см³, мощность пахотного слоя 20 см (пример оформления результатов).

Вариант	Содержание подвижных форм элементов питания в почве, мг/кг			Запас подвижных форм элементов питания в почве, мг/кг			Коэффициент использования элементов питания из почвы %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений (K1)	85	120	96	213	300	240	23,2	7,2	16,6
2. P60K60 (K2)	96	124	98	240	310	245	23,0	–	–
3. P60K60Naa60	95	129	91	238	323	228	–	–	–
4. P60K60Nm60	91	123	89	228	308	223	–	–	–

Разностный метод определения коэффициента элементов питания из почвы имеет множество погрешностей. Во-первых, запас элементов питания в почве рассчитывается только в пахотном слое, хотя растения частично поглощают питательные вещества и из больших глубин. Во-вторых, в расчетах необходима информация о количестве элементов питания, которые растения поглощают из почвы в течение вегетационного периода. Так как очень сложно определять биологический вынос элементов питания, при расчете коэффициента использования ограничились хозяйственным выносом. В третьих, коэффициент использования

элементов питания из почвы разностным методом позволяет рассчитывать показатель только в вариантах без внесения удобрений. Фактически коэффициент использования элементов питания из почвы варьирует в зависимости от доз минеральных удобрений и соотношения в них элементов питания.

Коэффициент использования элементов питания из удобрений. Коэффициент использования элементов питания из удобрений (KIU_{NPK} , %) – это массовая доля макро- или микроэлемента удобрения, использованная растением для питания за 1 вегетационный период. Расчеты показателя проводятся по формуле

$$KIU_{NPK} = \frac{(BXU_{NPK} - BX0_{NPK})}{D_{NPK}} \quad (28)$$

где: D_{NPK} – доза минерального удобрения, кгNPK/га;

$BX0_{NPK}$ – хозяйственный вынос N, P или K в варианте без удобрений, кг/га;

BXU_{NPK} – хозяйственный вынос N, P или K при использовании минеральных удобрений, кг/га.

В расчетах следует правильно выбирать контрольный вариант. В расчетах по эффективности фосфорных и калийных удобрений контролем является K1, азотных – K2.

Таблица 28 – Коэффициент использования элементов питания их минеральных удобрений (пример оформления результатов).

Вариант	Доза элемента питания, мг/кг			Хозяйственный вынос, кг/га			Коэффициент использования элементов питания из удобрений %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений (K1)	–	–	–	49,2	21,7	39,9	–	–	–
2. P60K60 (K2)	–	60	60	55,3	25,9	44,2	–	4,2	4,3
3. P60K60Naa60	60	60	60	91,3	35,1	53,6	36,0	13,4	13,7
4. P60K60Nm60	60	60	60	87,3	32,4	50,6	36,2	10,7	10,7

Следует отметить, что приведенная выше методика расчета коэффициента использования удобрений разностным методом не лишена погрешности. На основе исследований с мечеными атомами NPK выявлено, что при использовании азотных удобрений по фону фосфорно-калийных усиливается поглощение растениями P и K из агрохимикатов и почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев, С.А. Агроэнергетика – основа повышения плодородия почв и урожаев сельскохозяйственных культур / С.А. Алиев // Программирование урожаев сельскохозяйственных культур в Сибири. – Новосибирск: 1985. – С. 13-17.
2. Володин В.М. Экологические основы оценки и использования плодородия почв / В.М. Володин. – М.: ЦИНАО, 2000. – 336 с.
3. Бондаренко, А. М. Экономическая эффективность применения органических и минеральных удобрений [Электронный ресурс] / А. М. Бондаренко. – Режим доступа: <http://terra1td.ru/economic-efficiency/>, 2015.
4. Булаткин, Г.А. Эколого-энергетические основы оптимизации продуктивности агроэкосистем / Г.А. Булаткин. – М.: НИА-Природа, 2008. – 366 с.
5. Дудук А.А. Оценка эффективности технологических операций, агроприемов и технологий в земледелии: методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов агрономических специальностей / А.А. Дудук, В.М. Кожан, А.В. Линкевич. – Гродно, 1996. – 59 с.
6. Инструкции и нормативы по определению экономической и энергетической эффективности применения удобрений / В.В. Токарев, Н.П. Дашкова, А.В. Румянцев и др. – М.: ЦИНАО, 1987. – 56 с.
7. Макаров, В.И. Экологическая эффективность сельскохозяйственного производства / В.И. Макаров // Проблемы региональной экономики, № 3-4. – Ижевск : Изд-во Института экономики и управления УдГУ, 2010. – С. 143-149.
8. Методические указания по определению экономической эффективности удобрений и других средств химизации, применяемых в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1979. – 32 с.
9. Методика разработки нормативных показателей выноса и коэффициентов использования питательных веществ при удобрении сельскохозяйственных культур. – М.: ВНИИА, 2008. – 24 с.
10. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В.В. Лапа и др. – Мн.: 2001. – 20 с.
11. Методические рекомендации по определению эколого-экономической эффективности использования средств химизации в сельском хозяйстве / И.Т. Труби-

лин, Н.Г. Малюга, В. П. Василенко, В.В. Стрельников, В.В. Говдяи и др. – Краснодар, 2001. – 38 с.

12. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.
13. Савич, В.И. Энергетическая оценка плодородия почв / В.И. Савич, В.Г. Сычев, А.Г. Замараев, Н.К. Сюняев, Ю.Н. Никольский. – М.: Изд-во ВНИИА, 2007. – 500 с.
14. Эффективность сельскохозяйственного производства (методические рекомендации) / Под ред. И.С. Санду, В.А. Свободина, В.И. Нечаева, М.В. Косолаповой, В.Ф. Федоренко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 228 с.

Учебное издание

Макаров Вячеслав Иванович

НОРМИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АГРОХИМИКАТОВ
Методы расчета технологической, агрохимической, экологической,
энергетической, экономической эффективности применения удобрений

учебное пособие

Технический редактор Е.Ф. Николаева

Подписано в печать 28.06.2016 г.
Формат 60х84/16. Усл.печ.л.3,49. Уч.-изд.л. 2,28.
Тираж 30 экз. Заказ № 6818
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА
426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11