

Российская академия сельскохозяйственных наук
Государственное научное учреждение
Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ
оценки энергетического состояния
почв в агроландшафтах

Курск – 2004

Научные основы и методы разработаны доктором сельскохозяйственных наук Масютенко Н.П.

В подготовке методов принимали участие научный сотрудник Шеховцова В.В., младший научный сотрудник Шеховцов А.И. и специалист Леонтьева Е.В.

Научные основы и методы предназначены для специалистов, работающих в области почвоведения, экологии, земледелия, и рекомендуются для использования при проведении научно-исследовательских, научно-практических и практических работ.

Рассмотрены и одобрены Ученым советом ВНИИЗиЗПЭ на заседании 18 мая 2004 года, протокол № 4

1. Введение

Острота сложившейся на планете экологической ситуации, неустойчивость и низкая продуктивность земледелия, истощение и деградация почв, в том числе и черноземных, необходимость разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия требуют **новых подходов** к оценке почвенных энергетических ресурсов.

Для управления функционированием агроландшафта актуальным становится изучение **потоков** не только вещества, но и **энергии**, а также **количественных параметров режимов трансформации** вещества и **энергии** как непосредственно в агроландшафтном контуре (угодье), так и в целом в агроландшафте. Требуется системный анализ и оценка потенциала природных и антропогенных почвенных ресурсов, интенсивности и направленности вещественно-энергетических потоков в них. Поэтому **возникла необходимость в разработке методов изучения и оценки энергетического состояния почвы.**

С термодинамической точки зрения почва представляет собой открытую гетерогенную и многофазную систему, характеризующуюся необратимыми термодинамическими процессами. Как указывает В.А. Ковда (1973), *"расчет энергетического состояния таких сложных систем, какой является почва, очень трудоемкий и многоступенчатый... В то же время в почве можно выделить, абстрагировать отдельные энергетические подсистемы, для которых вполне применимы при известных допущениях наиболее общие термодинамические соотношения."*

Характер и направленность потоков вещества и энергии в биогеоценозе, формирующих плодородие почвы, устойчивость и уровень ее производительности, определяется качественным и количественным составом почвенного органического вещества. Оно является одним из основных естественных аккумуляторов и источников энергии на Земле. Поэтому энергетическое со-

стояние почвы в большой степени определяется гумусом и другими веществами органического происхождения, находящимися в почве.

Органическое вещество почвы играет значительную роль в обеспечении устойчивости процесса трансформации энергии и вещества в агроэкосистеме. Тем более это важно в земледелии, где основная масса органического вещества, поступающего в почву с растительными остатками, не проходит все стадии его превращения до состояния гумуса, а минерализуется на начальных этапах его превращения (Володин, Масютенко, Юринская, 1990)

Анализ энергетического состояния почвы на основе определения энергетических показателей почвенного органического вещества и их динамики *позволит оценивать потенциалы природных и антропогенно измененных почвенных ресурсов, их изменения и потоки энергии при трансформации органического вещества почвы в агроландшафтах.*

2. Условные обозначения

- Q - энергопотенциал органического вещества почвы, гДж/га;
- Q_{лс} - энергопотенциал органического вещества почв в агроландшафте, гДж/га;
- Q_{1,2,...n} - энергопотенциал органического вещества почв угодий, гДж/га;
- S_{1,2,...n} – площади угодий, га;
- Q_г – запасы энергии в гумусе, гДж/га;
- Q_{нв} – запасы энергии в негумифицированном органическом веществе, гДж/га;
- Q_{вт} – количество энергии, выделяемое в процессе разложения лабильной части органического вещества почвы, гДж/га в год;
- Q_{нг} – запасы энергии в инертном гумусе, гДж/га;
- Q_{лг} - запасы энергии в лабильных гумусовых веществах, гДж/га;
- Q_{лгк} – запасы энергии в лабильных гуминовых кислотах, гДж/га;
- Q_{лфк} - запасы энергии в лабильных фульвокислотах, гДж/га;
- Q_{мб} - запасы энергии в микробной биомассе, гДж/га;
- Г – содержание общего гумуса, %;
- Г_ц – содержание общего гумуса в целинной почве, %;

ИГ – содержание инертного гумуса, %;
d – плотность почвы, т/м³;
Н – слой почвы, м;
НВ – негумифицированное органическое вещество, т/га;
ЛГК – содержание лабильных гуминовых кислот, мг/кг почвы;
ЛФК – содержание лабильных фульвокислот, мг/кг почвы;
ЛГВ – лабильные гумусовые вещества почвы, мг/кг почвы;
МБ – микробная биомасса, мг/кг;
Ес – энергосодержание почвы, Дж/см³;
Еу – уровень энергоемкости почвы, Дж/см³;
Ец – уровень энергоемкости целинной почвы, Дж/см³;
Пу – показатель устойчивости плодородия почвы;
q – теплота сгорания пожнивно-корневых остатков, гДж/т;
q₀ – теплота сгорания инертного гумуса, гДж/т;
q₁ – теплота сгорания надземной фитомассы, гДж/т;
q₃ – теплота сгорания корней в лесу, в лесополосе, гДж/т;
q₄ – теплота сгорания подстилки, гДж/т;
q₅ – теплота сгорания негумифицированного органического вещества, гДж/т;
q₆ – теплота сгорания опада, гДж/т;
q₇ – теплота сгорания гумуса, гДж/т;
q₈ – теплота сгорания лабильных гуминовых кислот, кДж/г;
q₉ – теплота сгорания лабильных фульвокислот, кДж/г;
q₁₀ – теплота сгорания микробной биомассы, кДж/г;
q₁₁ – теплота сгорания органических удобрений, гДж/г;
J – коэффициент пересчета для определения запасов энергии негумифицированного органического вещества почвы;
Кд – коэффициент трансформации органического вещества почвы;
L – коэффициент подвижности лабильных гумусовых веществ;
R – коэффициент микробной биомассы;
λ – коэффициент лабильности гумуса;
К1 – скорость распада за год лабильных гумусовых веществ;
К2 – степень разложения за год негумифицированного органического вещества;
К3 – количество сменяющихся за год популяций микроорганизмов;
ПА₀ – показатель активности энергетических процессов;
П – пашня;
Л – луг;
ЛП – лесополоса, лес;
ЧП – чистый пар;
m – количество видов органических удобрений;

Δ – изменение;
 t^0 – начальное время;
 t – период времени, год;
ПО – пожнивно-корневые остатки, ц/га;
 a, a_1 – коэффициенты из регрессионных уравнений;
 b, b_1 – свободные члены из регрессионных уравнений;
ОУ – доза органических удобрений, т/га;
ОУ – органические удобрения, т;
ОУ_{тр} – требуемое количество органических удобрений в севообороте, на участке, обеспечивающее бездефицитный баланс гумуса, т/га;
ОУ_{комп} – количество органических удобрений, компенсируемое накоплением гумусовых веществ под многолетними травами, бобовыми и другими культурами, т/га;
СОУ – содержание сухого вещества в органических удобрениях;
Спо – содержание сухого вещества в пожнивно-корневых остатках;
F – поправочный коэффициент на негумифицированное органическое вещество почвы;
 y – урожай сельскохозяйственных культур, ц/га;
Усид. – урожай сидеральных культур, ц/га;
МУ – дозы внесения минеральных удобрений, кг/га д.в.;
N – вынос азота с урожаем растений, кг/ц;
AN – коэффициент азотфиксации;
БГ – баланс гумуса в почве, т/га;
ΔБГ – изменение баланса гумуса в почве, т/га;
ΔQ – изменение энергopotенциала органического вещества почвы, гДж/га;
БЭ – изменение запасов энергии в гумусе, гДж/га;
 K_0 – коэффициент уменьшения потерь гумуса при почвозащитных обработках;
K – коэффициент, показывающий часть фитомассы, остающейся на поверхности почвы;
 K^1 – коэффициент пересчета на устойчивое растительное вещество;
 K_1 – коэффициент гумификации растительных остатков;
 K_2 – поправочный коэффициент на гранулометрический состав;
 K_3 – поправочный коэффициент на культуру;
 K_4 – коэффициент минерализации гумуса на чистом пару;
 K_5 – коэффициент гумификации органических удобрений;
 K_5^0 – коэффициент гумификации навоза;
 K_6 – поправочный коэффициент на растительные остатки;
 K_7 – коэффициент расчета оптимально допустимых параметров;
K_{гк} – коэффициент гумификации корней;

К_{гнф} – коэффициент гумификации надземной фитомассы;
К_{гоп} – коэффициент гумификации опада;
К_{гпод} – коэффициент гумификации подстилки;
К_м – коэффициент гумификации гумуса;
К – коэффициент изменения содержания лабильных гумусовых веществ;
З_к – запасы корней на лугу, т/га;
З_{кл} – запасы корней в лесу или лесополосе, т/га;
З_{нф} – количество наземной фитомассы на лугу, т/га;
З_{оп} – количество опада в лесу или лесополосе, т/га;
З_{под} – количество подстилки в лесу, т/га;
Р_г – потери почвенного гумуса при эрозии, т/га;
Е – запасы энергии в органическом веществе, т/га;
Е₁ – запасы энергии в устойчивом растительном веществе, гДж/га;
Е₂ – количество энергии, выделяющейся при разложении органического вещества, гДж/га;
Е₃ – потери энергии гумусовых веществ, гДж/га;
Е_{па} – накопление энергии в гумусе на пашне при гумификации поступающего в почву органического материала, гДж/га;
Е_{чпа} – накопление энергии в гумусе в чистом пару при гумификации поступающего в почву и находящегося в ней органического вещества, гДж/га;
Е_{ла} – накопление энергии в гумусе на лугу при гумификации поступающего в почву органического вещества, гДж/га;
Е_{лпа} – накопление энергии в гумусе в лесу, лесополосе при гумификации поступающего в почву органического материала, гДж/га.

3. Научные основы и положения методологического подхода к оценке энергетического состояния почв в агроландшафте

Сущность функционирования почвы как компонента биосферы составляет трансформация и связывание органического вещества в ней, поэтому запасы энергии в органическом веществе почвы и их изменения во времени отражают в большой степени ее энергетическое состояние. Органическое вещество выполняет множество разнообразных функций, основные это: энергетическая, питательная, структурообразовательная, регуляторная, защитная и санитарно-

гигиеническая, которые обеспечивают устойчивое функционирование почвы в составе природных и сельскохозяйственных экосистем.

Многочисленные исследования, проведенные во второй половине XX века, убедительно свидетельствуют об общепланетарной роли гумуса как колоссального геохимического аккумулятора, главного хранителя солнечной энергии на земной поверхности (Ковда, 1970, 1973; Волобуев, 1974; Алиев, 1978, 1980; Орлов, Гришина, 1981; Шербаков, Рудай, 1983). Суммарные запасы энергии, связанной в гумусе почвенного покрова суши Земли, по расчетам В.А. Ковды и И.В. Якушевской (1971), составляют 10^{19} - 10^{22} кДж и равны или несколько превышают запасы энергии, накопленной надземной частью фитомассы (10^{19} - 10^{20} кДж).

Консервируя солнечную энергию, органическое вещество является одним из важнейших *естественных энергетических источников*, определяющих развитие почвы и формирование ее главного свойства – плодородия (Шербаков, Рудай, 1983). Энергия органического вещества почвы используется растениями, микроорганизмами и беспозвоночными животными для своей жизнедеятельности, для фиксации азота, а также для многих внутрипочвенных процессов преобразования почвенной массы, для воспроизводства почвенного плодородия. *Поддержание запасов органического вещества почвы означает сохранение ее энергетического потенциала.*

В.А. Ковда (1973) указывает, что энергия, заключенная в гумусе, хотя и составляет лишь небольшую часть энергии кристаллической решетки минералов, слагающих почву, но имеет исключительно большое значение. Он пишет, что "почвенный покров как компонент биосферы представляет собой **универсальный земной аккумулятор и экономный распределитель наиболее ценной для поддержания жизни части энергии, связанной в гумусе и необходимой для нормального обмена и круговорота веществ в природе**".

Анализ научной литературы показал, что во второй половине XX века основное внимание почвоведы и экологи уделяли оценке аккумулятивной энергетической функции гумусовых веществ, то есть определению запасов энергии или в целом в гумусе различных почв, или с учетом его группового состава. Не изучались запасы энергии в лабильных фракциях гумуса, хотя именно они характеризуют гумус как источник энергии, определяют потоки вещества и энергии, вовлекаемые в биологический круговорот, интенсивность почвенных процессов, формирование и воспроизводство почвенного плодородия и продуктивность земледелия. Источником энергии в почве кроме гумуса является и негумифицированное органическое вещество.

Показателем, отражающим и оценивающим аккумулятивную энергетическую функцию органического вещества почвы, может быть *энергопотенциал*, так как по общепринятому определению (Советский энциклопедический словарь. М.: "Советская энциклопедия", 1984, с.1043) потенциал – это средства, запасы имеющиеся в наличии, которые могут быть мобилизованы и использованы для достижения определенной цели, решения какой-либо задачи.

Следует подчеркнуть, что органическое вещество почвы – это сложная открытая система, находящаяся в постоянном массо- и энергообмене с окружающей средой. Содержащееся в почве *органическое вещество* представляет собой открытую *гетерогенную многокомпонентную термодинамическую систему*, состоящую из органических и собственно гумусовых веществ, включающих *инертный гумус (ИГ), лабильные гумусовые вещества (ЛГВ), микробную биомассу (МБ) и негумифицированное органическое вещество (НВ), различающихся по степени связи с минеральной частью почвы.*

Поэтому и согласно определению потенциала, **энергопотенциал органического вещества почвы** – это количество энергии, заключенное в инертном гумусе, лабильных гумусовых веществах, микробной биомассе и негумифици-

рованном органическом веществе в исследуемом слое почвы на единице площади, измеряется в гДж/га, кДж/м².

Как указывает А.П. Куликов (1996), в гумусе удерживается *высококачественная форма свободной энергии, способная совершать работу, не снижая энтропии почв.*

По степени доступности можно выделить три вида энергии, заключенной в органическом веществе почвы:

1. труднодоступная (*связанная*) энергия инертного гумуса;
1. средnedоступная (*потенциально-активная*) энергия активной части гумусовых веществ (лабильных гумусовых веществ и микробной биомассы);
2. легкодоступная (*активная*) энергия негумифицированного органического вещества почвы.

Потенциально-активная и активная – это энергия, которая может быть превращена в работу в настоящее время при определенных условиях.

Очевидно, что доступность энергии определяется степенью связи органического вещества с минеральной частью почвы и количеством энергии, которое потребуется на ее разрушение.

Количество энергии (Q_{BT}), выделяемое в процессе трансформации лабильных гумусовых веществ, негумифицированного органического вещества и при смене популяций микроорганизмов и вовлекаемое в биологический круговорот вещества и потоков энергии характеризует органическое вещество почвы как источник энергии.

Аккумулятивную энергетическую функцию гумусовых веществ характеризуют запасы энергии в них. Запасы энергии в лабильных гумусовых веществах и микробной биомассе свидетельствуют о потенциальной способности гумусовых веществ как источника энергии. Запасы энергии в негумифицирован-

ном органическом веществе позволяют оценить *легкодоступную энергию* органического вещества почвы.

Основные положения методологического подхода к оценке энергетического состояния почвы:

1. Органическое вещество почвы является ***носителем наиболее ценной для поддержания жизни энергии***, необходимой для нормального обмена и круговорота вещества в природе, ***выполняет функционально разнообразную*** и одновременно ***глобальную роль*** в экосистеме, поэтому ***запасы энергии в органическом веществе почвы и их изменения во времени отражают в большой степени энергетическое состояние почвы.***

2. Показателем, оценивающим энергетическое состояние почвы с агрономических и экологических позиций и отражающим ***аккумулятивную энергетическую функцию*** органического вещества почвы, может быть ***энергопотенциал ее (почвы) органического вещества.***

3. Для характеристики обменных энергетических процессов, протекающих в почве, следует изучать ***выделение энергии*** при трансформации лабильной части почвенного органического вещества и ***показатель активности энергетических процессов*** в нем. Показатель активности энергетических процессов позволяет оценить долю энергии, выделяемой при трансформации лабильной части органического вещества почвы, от энергопотенциала ее органического вещества.

4. Для углубленного изучения энергетического состояния почвы в агроландшафте необходимо количественно оценивать ***потоки энергии при трансформации в почве органического вещества***, находящегося и поступающего в нее, что требует разработки моделей трансформации органического вещества в почвах под лугом, лесополосами, лесом и на пашне.

5. Непременным условием изучения энергетического состояния почвы является определение термодинамических характеристик гумусовых веществ.
6. Для оценки и прогнозирования изменения энергетического состояния почв во времени следует *изучать динамику его показателей*.
7. Для характеристики энергетического состояния почв целесообразно применять *показатель устойчивости плодородия почв* (а.с. №1528142), основанный на соотношениях между запасами общей энергии органического вещества в почве и запасами энергии в гумусе целинной и изучаемой почв. Чем выше значения этого показателя, тем больше устойчивость плодородия почвы.
8. Для проведения оценки энергетического состояния почв в агроландшафте необходимо изучать его *в каждом агроландшафтном контуре или угодье*.
9. Для оценки энергетического состояния почв предлагается выделять пять уровней значений его показателей: *критический, низкий, средний, оптимальный, высокий*.
10. В зависимости от цели и назначения исследований предложены *два подхода* к определению энергетических показателей почв.

10.1. *Первый подход* предназначен для глубокого системного анализа и оценки энергетических потенциалов природных и антропогенно измененных почвенных ресурсов, потоков энергии при трансформации органического вещества в природных ландшафтах и агроландшафтах при проведении научных исследований. Расчеты проводятся на основе экспериментальных данных полевых и лабораторных исследований.

10.2. *Второй подход* предназначен для решения научно-практических и практических задач по оценке природных и антропогенно измененных почвенных ресурсов. При расчетах используют данные агрохимического обследования почв и информацию по хозяйству.

4. Методы определения энергетических показателей почвы

4.1. Методы определения энергопотенциала органического вещества почвы

Первый метод

При проведении **научных исследований** в природных и агроландшафтах для *определения энергопотенциала органического вещества почвы* необходимо изучить содержание в ней *общего гумуса, лабильных гумусовых веществ (лабильных гуминовых и фульвокислот), негумифицированного органического вещества и микробной биомассы.*

Для определения в почве содержания общего гумуса, качественного и количественного состава лабильных гумусовых веществ и, при возможности, микробной биомассы образцы почвы в изучаемых угодьях отбираются в гумусовом горизонте осенью или во время уборки урожая сельскохозяйственных культур в слоях 0–25 см, 25–50 см. При отборе смешанных образцов необходимо строго выдерживать следующие условия - *смешивать равные объемы почвы.*

На *пашне* на черноземных почвах отбор почвенных образцов производят из 5 – 8 точек по диагонали через 4–5 м, а на других почвах – в соответствии со степенью варьирования содержания гумуса в них. При исследованиях на эродированных почвах необходимо отбирать образцы на водоразделе, склонах разных экспозиций и в зависимости от степени их эродированности.

В *лесной полосе* отбор почвенных образцов необходимо производить в середине междурядий, так как свойства почвы изменяются в зависимости от расстояния от ствола дерева.

В отобранных почвенных образцах определяют содержание общего гумуса по методу Тюрина в модификации Никитина со спектрофотометрическим окончанием по Орлову и Гриндель (Никитин, 1983), количественный и качественный состав лабильных гумусовых веществ, извлекаемых 0,1 н раствором NaOH из

недекальцинированных почв черноземного типа по методу Тюрина (1951) в модификации Почвенного института им. В.В. Докучаева (Рекомендации для исследования ..., 1984; Когут, Булкина, 1987), биомассу микроорганизмов регидратационным методом (Благодатский, Благодатская, Горбенко, Паников, 1987), выделяют препараты гумусовых кислот по методике Почвенного института им. В.В. Докучаева с дополнительной очисткой по Левескью, затем в них определяют элементный состав кислот: содержание углерода, азота, водорода и золы на автоматическом анализаторе, содержание кислорода – по разности. Негумифицированное органическое вещество в почве определяют ежегодно после уборки в 3–5 точках в ряду и междурядье методом монолитов или более простым методом. Для этого выкапывают лопатой куб почвы 20x20x20 или 20x20x25 см (стенки должны быть ровными). Почву из него аккуратно без потерь складывают в пакет или полиэтилен и измеряют длину, ширину, высоту “куба”. Затем почву взвешивают, определяют влажность, сухой вес, плотность, замачивают и отмывают негумифицированное органическое вещество через капроновые сетки. Его высушивают до воздушно-сухого состояния, взвешивают. Содержание негумифицированного органического вещества в почве определяют по формуле:

$$НВ = 104mdh/P; \quad (1)$$

где m – вес сухих органических остатков, г; d – плотность почвы, т/га;

h – высота “куба”, м; P – вес воздушно-сухого почвенного монолита, г.

После определения в почвенных образцах выше указанных показателей рассчитывают **энергопотенциал органического вещества почвы (Q)** по ниже приведенным формулам с использованием нормативных и справочных материалов, изложенных в приложениях 9.1. – 9.7.

$$Q = Q_{Г} + Q_{НВ} \quad , \quad (2)$$

$$Q = Q_{ИГ} + Q_{ЛГ} + Q_{НВ} \quad (3)$$

$$Q_{ИГ} = Q_{Г} - Q_{ЛГ} \quad (4)$$

или $Q = 100 \cdot ИГ \cdot Н \cdot q_0 \cdot d \quad (5)$

$$Q_{Г} = 2165 Г \cdot Н \cdot d \quad (6)$$

$$Q_{ЛГ} = Q_{ЛГК} + Q_{ЛФК} \quad (7)$$

Запасы энергии в лабильных гумусовых кислотах ($Q_{ЛГК}$ и $Q_{ЛФК}$) рассчитывают по следующим формулам.

$$Q_{ЛГК} = 1,73^* \cdot 10^{-2} \cdot ЛГК \cdot d \cdot Н \cdot q_8 \quad (8)$$

$$Q_{ЛФК} = 2,25^* \cdot 10^{-2} \cdot ЛФК \cdot d \cdot Н \cdot q_9 \quad (9)$$

Если есть данные по МБ, тогда определяют уточненное содержание в почве лабильных гуминовых и фульвокислот ($ЛГК'$, $ЛФК'$), так как углерод микробной биомассы входит в их состав.

$$ЛГ = ЛГК' + ЛФК' + МБ \quad (10)$$

$$ЛГК' = \frac{ЛГК \times (ЛГ - МБ)}{ЛГ} \quad (11)$$

$$ЛФК' = \frac{ЛФК \times (ЛГ - МБ)}{ЛГ} \quad (12)$$

Уточненные запасы энергии в лабильных гумусовых кислотах определяют по формулам 13 и 14, а в микробной биомассе – по формуле 15.

$$Q'_{ЛГК} = 1,73^* \cdot 10^{-2} \cdot ЛГК' \cdot d \cdot Н \cdot q_8 \quad (13)$$

$$Q'_{ЛФК} = 2,25^* \cdot 10^{-2} \cdot ЛФК' \cdot d \cdot Н \cdot q_9 \quad (14)$$

$$Q_{МБ} = 2,0^{**} \cdot 10^{-2} \cdot МБ \cdot d \cdot Н \cdot q_{10} \quad (15)$$

Затем запасы энергии в лабильной части гумусовых веществ рассчитывают по формуле 16.

$$Q_{ЛГ} = Q'_{ЛГК} + Q'_{ЛФК} + Q_{МБ} \quad (16)$$

*- коэффициент пересчета углерода гумусовых кислот на их общую биомассу

** - коэффициент пересчета углерода на микробную биомассу

Теплоту сгорания гумусовых кислот рекомендуется определять на основании их элементного состава по формуле С.А. Алиева (Орлов, Гришина, 1981).

$$q = 90 \times C + 34,4 \times H - 50 \times (0,87 \times O - 4 \times N), \quad (17)$$

где q – теплота сгорания, кал/г;
 C, H, O, N – содержание в препаратах углерода, водорода, кислорода, азота, масс. %.

Для определения запасов энергии в негумифицированном органическом веществе ($Q_{НВ}$) используют формулу 18.

$$Q_{НВ} = 18,84 \cdot НВ \quad (18)$$

Энергопотенциал органического вещества почвы рассчитывают по формуле 3. Шкалы для оценки энергопотенциала органического вещества черноземных почв Курской области и ЦЧЗ представлены в таблицах 3 и 4.

В агроландшафте энергопотенциал органического вещества почв в агроландшафте ($Q_{ЛС}$) определяют следующим образом.

$$Q_{ЛС} = \frac{Q_1 \cdot S_1 + Q_2 \cdot S_2 + \dots + Q_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (19)$$

Второй метод

При решении **научно-практических и практических задач** необходимо собрать данные агрохимического обследования по содержанию гумуса, плотности почвы в слое 0–25см, а также информацию о севооборотах, урожайности сельскохозяйственных культур, применяемых системах удобрений и обработки почвы за последние 5 лет.

Запасы негумифицированного органического вещества в почве рассчитываются по формулам 32 - 35.

** - коэффициент пересчета углерода на микробную биомассу

Затем рассчитывают запасы энергии в гумусе почвы по формуле 20.

$$Q_{\Gamma} = 2165 \cdot \Gamma \cdot H \cdot d \quad (20)$$

Содержание энергии в лабильных гумусовых веществах ($Q_{\text{ЛГ}}$) определяют на основании запасов энергии в гумусе и коэффициента лабильности гумуса (λ), представленного в приложениях 9.2, 9.3 для чернозема типичного в зависимости от вида угодий, системы земледелия и местоположения в рельефе.

$$Q_{\text{ЛГ}} = \lambda \cdot Q_{\Gamma} \quad (21)$$

Запасы энергии в инертном гумусе рассчитывают по формуле 22.

$$Q_{\text{ИГ}} = Q_{\Gamma} - Q_{\text{ЛГ}} \quad (22)$$

Содержание энергии в негумифицированном органическом веществе можно определить по формуле 18, а при отсутствии данных по НВ рассчитывают по формуле 23 с использованием коэффициента пересчета (J), представленного в приложении 9.1 для чернозема типичного в зависимости от вида угодий, системы земледелия и местоположения в рельефе, и содержания энергии в гумусе.

$$Q_{\text{НВ}} = J \cdot Q_{\Gamma} \quad (23)$$

Энергопотенциал органического вещества почвы рассчитывают по формуле 24, в агроландшафте по формуле 19.

$$Q = Q_{\text{ИГ}} + Q_{\text{ЛГ}} + Q_{\text{НВ}} \quad (24)$$

Шкалы для оценки энергопотенциала органического вещества черноземных почв Курской области и ЦЧЗ представлены в таблицах 3 и 4.

4.2.Метод определения выделения энергии при трансформации органического вещества почвы

Количество энергии, выделяемое в процессе трансформации лабильных гумусовых веществ, негумифицированного органического вещества и при сме-

не популяций микроорганизмов и вовлекаемое в биологический круговорот вещества и потоков энергии (Q_{BT}), характеризует органическое вещество почвы как источник энергии.

При проведении научных исследований оно определяется по формуле 25.

$$Q_{BT} = K1 \cdot Q_{ЛГ} + K2 \cdot Q_{НВ} + K3 \cdot Q_{МБ}, \quad (25)$$

где $K1$ - величина минерализации лабильных гумусовых веществ за год;

$K2$ – степень разложения негумифицированного органического вещества за год в % ;

$K3$ – количество сменяющихся за год популяций микроорганизмов.

Запасы энергии в лабильных гумусовых веществах рассчитываются по формулам 13 и 14, в микробной биомассе – по формуле 15 (на основании экспериментальных данных), а в негумифицированном органическом веществе – по формуле 18 (на основании фактических или расчетных данных). Величины показателей $K1$, $K2$, $K3$ для черноземов в зависимости от местоположения в рельефе представлены в приложении 9.7.

Если данных по микробной биомассе нет, тогда запасы энергии в ней можно рассчитать на основании запасов энергии в лабильных гумусовых веществах и коэффициента микробной массы (R), представленного в приложении 9.5 для черноземных почв в зависимости от вида угодья и севооборота, по формуле 26.

$$Q_{МБ} = \frac{Q_{ЛГ} \cdot R}{1 - R} \quad (26)$$

При проведении научно-практических и практических работ количество энергии (Q_{BT}), выделяемой при трансформации органического вещества почвы, рассчитывается на основании учета запасов энергии в гумусе и негуми-

фицированном органическом веществе (на основании фактических или расчетных данных) с использованием коэффициента трансформации органического вещества почвы (K_D), представленного в приложении 9.4, по формуле 27.

$$Q_{BT} = K_D \cdot (Q_G + Q_{NB}) \quad (27)$$

В том случае, если данные по негумифицированному органическому веществу отсутствуют, выделение энергии определяют на основании запасов энергии в гумусе (Q_G) с использованием коэффициента трансформации (K_D) органического вещества почвы (приложение 9.4) и коэффициента пересчета (J) на негумифицированное органическое вещество (приложение 9.1).

$$Q_{BT} = K_D \cdot Q_G \cdot (1+J) \quad (28)$$

Шкалы для оценки количества энергии, выделяемой при трансформации лабильной части органического вещества почвы, представлены в таблице 5.

4.3. Методы расчета показателей энергетического состояния почвы за оцениваемый период

Показатель активности энергетических процессов ($ПА_0$) в органическом веществе почвы позволяет определить какую часть доли от энергopotенциала органического вещества почвы (Q) составляет энергия, выделяемая при трансформации его лабильной части (Q_{BT}), и рассчитывается по формуле 29 (*только для первого метода*).

$$ПА_0 = \frac{Q_{BT}}{Q} \quad (29)$$

Энергopotенциал органического вещества определяют по формуле 3, а количество энергии, выделяемой при трансформации лабильной части органического вещества, по формуле 25. Шкалы для оценки показателя активности энергетических процессов приведены в таблице 6.

Степень изменения энергетического состояния почвы в год (δ) определяется по формуле 30.

$$\delta = \Delta Q : Q_t \quad (30)$$

где ΔQ – изменение энергopotенциала органического вещества почвы за год в гДж/га, рассчитывается по формуле 31.

$$\Delta Q = Q_t - Q_0, \quad (31)$$

где Q_t – энергopotенциал органического вещества почвы в исследуемом году, гДж/га;

Q_0 – энергopotенциал органического вещества почвы в предыдущем году, гДж/га.

Шкалы для оценки степени изменения энергopotенциала органического вещества почвы в год (δ) приведены в таблице 7.

Показатель устойчивости плодородия почвы (P_y). Показатель устойчивости плодородия – это отношение величины общей энергии органического вещества почвы к разности между запасами энергии в гумусе целинной и изучаемой почв. Чем выше значения этого показателя, тем больше устойчивость плодородия почвы. Шкалы оценки для показателя устойчивости плодородия почвы приведены в таблице 7. Рассчитывают его следующим образом.

$$P_y = \frac{E_c}{E_{yц} - E_y}, \quad (31)$$

где E_c – энергосодержание почвы, Дж/см³;

E_y – уровень энергоемкости исследуемой почвы, Дж/см³;

$E_{yц}$ – уровень энергоемкости целинной почвы, Дж/см³.

Энергосодержание почвы - это содержание энергии в прочносвязанном и "свободном" органическом веществе в единице объема почвы. Определяют его по формуле 32.

$$E_C = \frac{Q_{\Gamma} + Q_{\text{НВ}}}{10H}, \text{ где} \quad (32)$$

Н – слой почвы, м.

Уровень энергоемкости почвы – это количество энергии в инертном гумусе и в лабильных гумусовых веществах в единице объема. Определяют его по формулам 33 и 34.

$$E_y = \frac{Q_{\text{иг}} + Q_{\text{лг}}}{10H} \quad (33)$$

или
$$E_y = \frac{Q_{\Gamma}}{10H} \quad (34)$$

Определение термодинамических показателей гумусовых кислот проводят расчетным методом по Ю.Н. Водяницкому (2000) по их элементному составу. Препараты гумусовых кислот для определения их элементного состава рекомендуется выделять по методу, предложенному в лаборатории биологии и биохимии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева (1984). Дополнительную очистку препаратов проводить по методу Левескю (1966). Элементный состав гумусовых кислот: содержание углерода, азота, водорода и золы – определяют на автоматических анализаторах, например, фирмы «Перкин-Элмер» (США), а содержание кислорода – по разности. На таблице 1 представлены термодинамические характеристики гуминовых кислот основных почв России, рассчитанные по методу Ю.Н. Водяницкого на основании данных Д.С. Орлова (1990). По всем стандартным термодинамическим показателям гу-

миновые кислоты черноземов характеризуются средними значениями, возможно именно это определяет их достаточно высокую устойчивость .

5. Определение изменения энергетического состояния почвы за оцениваемый период

Изменение содержания энергии в негумифицированном органическом веществе пахотной почвы по годам определяется на основании экспериментальных данных по НВ (см. стр. 16) или урожайности сельскохозяйственных культур по следующим формулам:

$$Q_{\text{НВ}} = 18,84 \cdot \text{НВ} \quad (35)$$

$$\text{ПО} = (a_1 + a) \cdot y + b_1 + b \quad (36)$$

$$\text{НВ}^t \text{ или } \text{НВ}^{t-1} = 0,2 \cdot (\text{ОУ}^1 \cdot \text{СОУ}^1 + \text{ОУ}^2 \cdot \text{СОУ}^2 + \dots + \text{ОУ}^m \cdot \text{СОУ}^m) + 0,1 \cdot \text{ПО} + 0,004 \cdot \text{Усид} \quad (37)$$

$$\text{НВ}^t = F \cdot \text{НВ}^{t-1} + \text{НВ}^t \quad (38)$$

$$Q_{\text{НВ}} = 18,84 \cdot \text{НВ}^t \quad (39)$$

$$\Delta Q_{\text{НВ}} = Q_{\text{НВ}}^t - Q_{\text{НВ}}^{t-1} \quad (40)$$

Нормативы и справочные материалы представлены в приложениях 14, 15, 17.

Условные обозначения приведены в разделе 2 . Значения показателей a , a_1 , b , b_1 приведены в приложении 9.18 ; СОУ_m - в 9.15 ; F - в 9.16.

Изменение энергопотенциала органического вещества пахотных почв (ΔQ) в слое 0 – 25см рассчитывают по формулам 41-46 на основании определения баланса органического вещества (гумуса и негумифицированного органического вещества) в почве. Баланс гумуса рассчитывается по методике А.М. Лыкова, но с учетом уровня внесения азотных минеральных удобрений, группы культур, системы обработки почвы, потери энергии гумуса при и эрозионных процессах, используя данные по урожайности сельскохозяйственных культур и выноса с ним азота. Условные обозначения приведены в разделе 2. Зна-

чения показателей K_1 представлены в приложении 9.14; K_2, K_3, K_4 - в 9.19; K_5 - в 9.15, 9.22; K_6 - в 9.17; K_0 - в 9.20; N - в 9.18; AN - в 9.21, q_7 - в 9.13.

$$\Delta Q = 21,65 \cdot \text{БГ} + \Delta Q_{\text{НВ}} - P_{\Gamma} \cdot q_7 \quad (41)$$

При $10 \cdot y \cdot N \geq 15$ МУ для небобовых культур

$$\text{БГ}' = [0,1 \cdot K_1 \cdot K_6 \cdot \text{ПО} + \text{ОУ} \cdot K_5 + 0,01 \cdot \text{МУ} - 0,0172 \cdot y \cdot N \cdot K_2 \cdot K_3] \cdot (1 - K_0) \quad (42)$$

При $10 \cdot y \cdot N < 15$ МУ для небобовых культур

$$\text{БГ}' = [0,1 \cdot K_1 \cdot K_6 \cdot \text{ПО} + \text{ОУ} \cdot K_5 + 0,01 \cdot N \cdot y - 0,0172 \cdot y \cdot N \cdot K_2 \cdot K_3] \cdot (1 - K_0) \quad (43)$$

Для бобовых культур

$$\text{БГ}' = [0,1 \cdot K_1 \cdot K_6 \cdot \text{ПО} + \text{ОУ} \cdot K_5 + 0,01 \cdot \text{МУ} + 0,04 \cdot y_{\text{сид}} - 0,0172 \cdot N \cdot y \cdot K_2 \cdot K_3 + 0,0172 \cdot N \cdot y \cdot \text{АН}] \cdot (1 - K_0) \quad (44)$$

В черном пару

$$\text{БГ}' = - K_4 \cdot \Gamma \cdot (1 - K_0) \cdot H(\text{см}) \cdot d \quad (45)$$

$$\text{БГ} = (\text{БГ}'_1 + \text{БГ}'_2 + \dots + \text{БГ}'_i) \quad (46)$$

Изменение энергопотенциала органического вещества почвы во времени на лугу, в лесу и лесополосе определяют по формулам 43 и 44. Условные обозначения приведены в разделе 2.

На лугу и залежи

$$\Delta Q_{\text{Л}} = 0,33 \cdot Z_{\text{К}} (q_7 \cdot K_{\text{ГК}} + 0,3 \cdot K' \cdot q_2) + Z_{\text{НФ}} \cdot K \cdot (q_7 \cdot K_{\text{ГНФ}} + 0,3 \cdot K' \cdot q_1) - K_{\text{М}} \cdot Q_{\Gamma} + P_{\Gamma} \cdot q_7 \quad (47)$$

В лесу и лесополосе

$$\Delta Q_{\text{ЛП}} = 0,17 \cdot Z_{\text{КЛ}} (q_7 \cdot K_{\text{ГК}} + 0,25 \cdot K' \cdot q_3) + Z_{\text{ОП}} \cdot (q_7 \cdot K_{\text{ГОП}} + 0,25 \cdot K' \cdot q_6) + Z_{\text{ПОД}} \cdot (q_7 \cdot K_{\text{ГПОД}} + 0,25 \cdot K' \cdot q_4) - K_{\text{М}} \cdot Q_{\Gamma} - P_{\Gamma} \cdot q_7 \quad (48)$$

Запасы корней, наземной фитомассы на лугу и залежи, а также корней, опада, подстилки в лесу или лесополосе (рекомендуемые методики смотрите в разделе б), содержание гумуса в почве и его потери при эрозии определяют экспериментально в полевых исследованиях.

Значения используемых справочных и нормативных показателей приведены в приложениях: K в - 9.10; K' - в 9.9; $K_{ГНФ}$, $K_{ГК}$, $K_{ГПОД}$, $K_{ГОП}$ - в 9.8; q_1, q_2, q_3, q_4, q_6 - в 9.11; q_7 - в 9.13; K_M - в 9.12.

Степень изменения энергетического состояния почвы за год определяют по соотношению $\Delta Q:Q$.

6. Методика определения потоков энергии при трансформации органического вещества в почве в агроландшафте

Для учета динамики органической массы в лесах, лесополосах, лугах рекомендуется использовать «Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах» Л.Е. Родина, Н.П. Ремезова, Н.И. Базилевич (1968) и «Программу и методику биогеоэкологических исследований» (1974) под редакцией Н.В. Дылиса.

Количественное определение потоков энергии при трансформации органического вещества в агроландшафте проводят по моделям, описывающим превращение энергии органического вещества, поступающего в почву, потери гумусовых веществ почвы, баланс их энергии под лугом, лесом, лесополосами и пашней.

1. Превращение энергии органического вещества, поступающего в почву определяют по формулам 46-79 во всех угодьях. Условные обозначения приведены в разделе 2. Нормативные и справочные данные представлены в приложениях: q, q_5, q_{11} - в 9.13; a, a_1, b, b_1, N - в 9.18; q_1, q_2, q_3, q_4, q_6 - в 9.11.

Сначала рассчитывают запасы энергии в органическом веществе, поступающем в почву и на нее:

а) На пашне

$$E_{п} = E_{пк} + E_{оу} \quad (46)$$

$$E_{пк} = q \cdot Z_{пк} \quad (47)$$

$$Z_{пк} = (a_1 + a) \cdot y + b_1 + b \quad (48)$$

$$E_{оу} = q_{11} \cdot OУ \quad (49)$$

б) В чистом пару

$$E_{чп} = E_{нв} + E_{оу} \quad (50)$$

$$E_{нв} = q_5 \cdot НВ \quad (51)$$

в) На лугу

$$E_{оу} = q_{11} \cdot OУ \quad (52)$$

$$E_{л} = E^1_{л} + E^2_{л} \quad (53)$$

$$E^1_{л} = q_2 \cdot Z_{к} \quad (54)$$

$$E^2_{л} = q_1 \cdot Z_{нф} \cdot K^{\circ} \quad (55)$$

г) В лесу, лесополосе

$$E_{лп} = E^1_{лп} + E^2_{лп} + E^3_{лп} \quad (56)$$

$$E^1_{лп} = q_3 \cdot Z_{к} \quad (57)$$

$$E^2_{лп} = q_6 \cdot Z_{оп} \quad (58)$$

$$E^3_{лп} = q_4 \cdot Z_{под} \quad (59)$$

Затем определяют накопление энергии в гумусе при гумификации поступающего в почву органического материала. Значения показателей K_1 представлены в приложении 9.14; K_2, K_3, K_4 - в 9.19; K_5 - в 9.15, 9.22; K_6 - в 9.17; K_0 - в 9.20; N - 9.18; AN - в 9.21. а)

На пашне

$$\frac{dE_{па}}{Dt} = q_7 \cdot \{0,1 \cdot K_1 \cdot K_6 [(a_1 + a) \cdot y + b_1 + b] + OУ \cdot K_5 + 0,01 \cdot MУ + 0,0172 \cdot N \cdot y \cdot AN + 0,004 \cdot У_{сид}\} \cdot (1 + K_0) \quad (60)$$

б) В чистом пару

$$\frac{dE_{чпа}}{dt} = q_7 \cdot (K_7 \cdot НВ + K_5 \cdot OУ) \quad (61)$$

в) На лугу

$$\frac{dE_{ла}}{dt} = q_7 \cdot (K_{кг} \cdot Z_{к} + K \cdot K_{вф} \cdot Z_{нф}) \quad (62)$$

г) В лесу, лесополосе

$$\frac{dE_{лпа}}{dt} = q_7 \cdot (K_{гк} \cdot Z_{кл} + Z_{оп} \cdot K_{гоп} + K_{гпод} \cdot Z_{под}) \quad (63)$$

Таблица 1

Стандартные термодинамические характеристики гуминовых кислот основных почв России

Почвы	Теплота образования	Свободная энергия	Энтропия образования, Дж/К Г
	кДж/ г		
Пойменные луговые	-6,42	-4,46	-6,57
Темноцветные, рендзины	-6,57	-4,63	-6,53
Дерново-подзолистые, подзолы	-9,49	-6,72	-6,44
Бурые лесные, буроземы	-6,00	-4,19	-6,09
Серые лесные	-6,59	-4,62	-6,61
Черноземы	-5,75	-3,91	-6,17
Каштановые	-5,39	-3,73	-5,55
Солонцы, солоди	-4,21	-2,95	-4,23
Сероземы	-4,86	-3,36	-5,03
Красноземы красноцветные	-5,32	-3,73	-5,36
Горно-луговые	-4,51	-3,16	-4,52

Запасы энергии в устойчивом органическом веществе рассчитывают по формулам 64-67. Значения K^1 приведены в приложении 9.9.

а) На пашне

$$E_{1п} = K^1 \cdot E_{нв} + K^1 \cdot E_{оу} \quad (64)$$

б) В чистом пару

$$E_{1чп} = K^1 \cdot E_{нв} + K^1 \cdot E_{оу} \quad (65)$$

в) На лугу

$$E_{1л} = K^1 \cdot E^1_{л} + K^1 \cdot E^2_{л} \quad (66)$$

г) В лесу, лесополосе

$$E_{1лп} = K^1 \cdot E^1_{лп} + K^1 \cdot E^2_{лп} + K^1 \cdot E^3_{лп} \quad (67)$$

Затем, используя полученные данные, определяют количество энергии, выделяющейся при разложении органического вещества, по формулам 68-71.

а) На пашне

$$E_{2п} = E_{п} - E_{па} - E_{1п} \quad (68)$$

б) В чистом пару

$$E_{2чп} = E_{чп} - E_{чпа} - E_{1чп} \quad (69)$$

в) На лугу

$$E_{2л} = E_{л} - E_{ла} - E_{1л} \quad (70)$$

г) В лесу, лесополосе

$$E_{2лп} = E_{лп} - E_{лпа} - E_{1лп} \quad (71)$$

II. Потери энергии гумусовых веществ в почве рассчитывают по формулам

72-73. При этом учитывается минерализация гумуса и его потери при эрозии.

Значения показателей K_0 представлены в приложении 9.20; K_2 , K_3 - в 9.19; K_M - в 9.12; K_7 - в 9.13; N - в 9.18; AN - в 9.21.

а) На пашне

$$\frac{dE_3}{dt} = 0,0172 \cdot N \cdot y \cdot K_2 \cdot K_3 (1 - K_0) + P_{г} \cdot q_7 \quad (72)$$

б) В чистом пару, на лугу, в лесополосе, лесу

$$\frac{dE_3}{dt} = K_M \cdot Q_{г} + P_{г} \cdot q_7 \quad (73)$$

III. Баланс энергии в гумусовых веществах в почве определяют следующим образом. Обозначения представлены в разделе 2.

а) *На пашне и в чистом пару*

$$\frac{dB_{\text{ЭП}}}{dt} = \frac{dE_{\text{Па}}}{dt} - \frac{dE_3}{dt} \quad (74)$$

$$B_{\text{ЭП}} = Q_{\text{Г}}^t - Q_{\text{Г}}^{t_0} - P_{\text{Г}} \cdot q_7 \quad (75)$$

$$\text{или } B_{\text{ЭП}} = 21,65 \cdot B_{\text{Г}} - P_{\text{Г}} \cdot q_7 \quad (76)$$

Значения показателей q_7 представлены в приложении 9.13.

б) *На лугу*

$$\frac{dB_{\text{ЭЛ}}}{dt} = \frac{dE_{\text{Ла}}}{dt} - \frac{dE_3}{dt} \quad (77)$$

$$B_{\text{ЭЛ}} = 1,5 \cdot q_7 \cdot (K_{\text{ГК}} \cdot Z_{\text{к}} + K \cdot K_{\text{ГНФ}} \cdot Z_{\text{нф}}) - K_{\text{М}} \cdot Q_{\text{Г}} - P_{\text{Г}} q_7 \quad (78)$$

в) *В лесу, лесополосе*

$$\frac{dB_{\text{ЭЛП}}}{dt} = \frac{dE_{\text{ЛПа}}}{dt} - \frac{dE_{3\text{ЛП}}}{dt} \quad (79)$$

$$B_{\text{ЭЛП}} = q_7 \cdot (K_{\text{ГК}} \cdot Z_{\text{к}} + K_{\text{Гоп}} \cdot Z_{\text{оп}} + K_{\text{Гпод}} \cdot Z_{\text{под}}) - K_{\text{М}} \cdot Q_{\text{Г}} - P_{\text{Г}} \cdot q_7 \quad (80)$$

Значения используемых справочных и нормативных показателей приведены в приложениях: $K_{\text{в}}$ - 9.10; $K_{\text{ГНФ}}$, $K_{\text{ГК}}$, $K_{\text{Гпод}}$, $K_{\text{Гоп}}$ - в 9.8; q_7 - в 9.13; $K_{\text{М}}$ - в 9.12. Трансформация энергии органического вещества (гДж/га) в черноземе типичном под лугом, лесом и пашней представлена в таблице 2.

7. Система оценки энергетического состояния почвы

7.1. Показатели, используемые при оценке энергетического состояния почвы:

1. Энергопотенциал органического вещества почвы (Q).
2. Изменение энергопотенциала органического вещества почвы в год (ΔQ).
3. Степень изменения энергопотенциала органического вещества почвы в год (δ).
4. Выделение энергии при трансформации органического вещества почвы ($Q_{вт}$).
5. Показатель активности энергетических процессов ($ПА_0$).
6. Запасы энергии в негумифицированном органическом веществе почвы ($Q_{нв}$).
7. Показатель устойчивости плодородия почвы ($П_y$).

7.2. Шкалы оценки показателей энергетического состояния почвы (табл. 2 – 7).

Для оценки энергетического состояния почвы предлагаются пять уровней значений: высокий, оптимальный, средний, низкий, критический. Шкалы оценки энергетических показателей из таблицы 6 носят универсальный характер и применяются для большинства почв.

7.3. Анализ и оценка энергетического состояния почвы. Рекомендации. Рассчитанные энергетические характеристики почвы сравнивают со шкалами их оценки (табл. 2 – 7).

7.3.1. Низкие и средние значения энергетических показателей свидетельствуют о низком или среднем уровне энергетического состояния почвы.

Таблица 2

Трансформация энергии органического вещества (гДж/га) в черноземе типичном под лугом, лесом и пашней

Показатели	Лес, дубрава	Луг		Паш- ня
		косимый	некосимый	
Запасы энергии в органическом веществе, поступающем в почву и на нее	1091,12	142,37	391,54	67,48
Запасы энергии в надземной фитомассе, поступающей в почву	-	-	-	24,46
Запасы энергии в корневых остатках	909,86	130,75	290,14	41,97
Запасы энергии в опаде и подстилке или в войлоке луга	181,26	11,62	101,40	-
Запасы энергии в органических удобрениях	-	-	-	1,05
Запасы энергии в устойчивом органическом веществе	274,59	34,20	86,33	16,87
Количество энергии, накопленное в гумусе в процессе гумификации органического вещества	196,47	28,17	78,31	16,32
Количество энергии, выделяющееся при разложении органического вещества, поступающего в почву	620,06	79,70	226,90	35,60
Потери энергии гумусовых веществ	74,37	29,60	29,60	23,12
Количество энергии, мобилизуемое при разложении органического вещества, поступающего в почву, и при минерализации гумуса	694,43	109,30	256,50	58,72
Запасы энергии в надземной фитомассе – основной продукции (для агроэкосистем),	4609,12	77,47	101,40	24,46
Баланс энергии гумусовых веществ в почве, БЭ	+122,10	-1,13	+48,71	-6,80
Изменение энергопотенциала органического вещества почвы за год, ΔQ	+154,40	+37,90	+73,00	-1,01

На таких почвах требуется регулирование энергетического состояния и повышение плодородия почвы за счет воздействия на нее элементов систем земледелия: введение в севообороты многолетних бобовых трав, сидератов, пожнивных и промежуточных культур, внесение различных видов органо-минеральных удобрений, минимализация обработки почвы.

7.3.2. Критические и низкие значения энергетических показателей свидетельствуют о критическом уровне энергетического состояния почвы. В связи с этим для выведения почв из критического состояния, повышения ее энергопотенциала органического вещества и плодородия поля не пахутся, а залужаются, или отводятся под залежь.

7.3.3. Оптимальные и высокие значения энергетических показателей свидетельствуют об оптимальном уровне энергетического состояния почвы.

7.3.4. При оптимальных и высоких значениях энергетических показателей и слабом снижении энергопотенциала органического вещества почвы для сохранения плодородия почвы рекомендуется обеспечивать воспроизводство его за счет воздействия на него указанных выше элементов систем земледелия.

Таблица 3

**Шкала оценки энергопотенциала органического вещества (гДж/га) черноземных почв
Курской области (для слоя 0 – 25 см)**

Местоположение в рельефе	Черноземы типичные			Черноземы выщелоченные	Оценка уровня значения
	несмытые	слабосмытые	среднесмытые		
Водораздельное плато и склоны северной экспозиции	<2800	<2560	<2160	<2990	критический
	2800 – 3300	2560 – 3020	2160 – 2550	2990 – 3530	низкий
	3301 – 3740	3021 – 3420	2551 – 2890	3531 – 4000	средний
	3741 – 4180	3421 – 3920	2891 – 3230	4001 – 4470	оптимальный
	>4180	>3820	>3230	>4470	высокий
Склоны южной экспозиции	<2570	<2350	<2060	<2740	критический
	2570 – 3030	2350 - 2770	2060 – 2420	2740 - 3230	низкий
	3031 – 3440	2771 – 3140	2421 – 2750	3231 – 3660	средний
	3441 – 3850	3141 – 3510	2751 - 3080	3661 – 4090	оптимальный
	>3850	>3510	>3080	>4090	высокий

Таблица 4

**Шкала оценки энергopotенциала органического вещества (гДж/га) черноземных почв ЦЧЗ
(для слоя 0 – 25 см)**

Область	Черноземы типичные			Черноземы вы- щелоченные	Оценка уровня значения
	несмытые	слабосмытые	среднесмытые		
Белгородская	<3240	<2800	<2410	<3470	критический
	3240– 3820	2800 – 3220	2410 – 2910	3470 – 3850	низкий
	3821 – 4340	3221 – 3720	2911 – 3200	3851 – 4650	средний
	4341 – 4860	3721 – 4220	3201 – 3490	4651 – 5450	оптимальный
	>4860	>4220	>3490	>5450	высокий
Воронежская	<3240	<2860	<2250	<3690	критический
	3240 – 3830	2860 - 3280	2250 – 2720	3690 - 4090	низкий
	3831 – 4345	3281 – 3800	2721 – 2990	4091 – 4940	средний
	4346 – 4860	3801 – 4320	2991 – 3260	4941 – 5790	оптимальный
	>4860	>4320	>3260	>5790	высокий
Тамбовская	<3770	<3460	<2900	<3540	критический
	3770 – 4440	3460 – 3980	2900 – 3500	3540 – 3920	низкий
	4441 – 5050	3981 – 4600	3501 – 3860	3921 – 4740	средний
	5051 – 5660	4601 – 5220	3861 – 4220	4741 – 5560	оптимальный
	>5660	>5220	>4220	>5560	высокий
Липецкая	<3440	<3130	<2760	<3540	критический
	3440 – 4050	3130 – 3590	2760 – 3340	3540 – 3920	низкий
	4051 – 4600	3591 – 4160	3341 – 3670	3921 – 4740	средний
	4601 – 5150	4161 – 4730	3671 – 4000	4741 – 5560	оптимальный
	>5150	>4730	>4000	>5560	высокий

Таблица 5

Шкала оценки количества энергии (Q_{BT}), выделяемой при трансформации органического вещества черноземных почв (гДж/га), для слоя 0 – 25 см

Уровни значения	Оценка
<200	критический
200 – 299	низкий
300 – 399	средний
400 – 499	оптимальный
>499	высокий

Таблица 6

Шкала оценки показателя активности энергетических процессов (PA_0) в органическом веществе и черноземных почв для слоя 0 – 25 см

Уровни значения	Оценка
<0,05	критический
0,05 – 0,07	низкий
0,071 – 0,090	средний
0,091 – 0,110	оптимальный
>0,110	высокий

Таблица 7 Предложены научные основы и положения методологического подхода к оценке энергетического состояния почв. Органическое вещество почвы является одним из основных естественных аккумуляторов и источников энергии на Земле, причем наиболее ценной для поддержания жизни, необходимой для нормального обмена и круговорота вещества в природе, выполняет функционально разнообразную и одновременно глобальную роль в экосистеме, поэтому запасы энергии в органическом веществе почвы и их изменения во времени отражают в большой степени энергетическое состояние почвы.

Разработаны и представлены методы определения и оценки энергopotенциала органического вещества почв, показателя активности энергетических процессов, устойчивости плодородия почв, изменения энергетического состояния почвы за год и его степени, методика определения потоков энергии при трансформации органического вещества в почве в агроландшафте. Разработаны и приведены формулы расчета и модели потоков энергии. Даны шкалы оценки энергетических показателей универсальные и для черноземных почв, включающие четыре уровня: критический, низкий, средний и оптимальный.

Для обеспечения реализации методов оценки энергетического состояния почв в агроландшафтах разработан нормативный материал и собраны справочные данные. Представлены материалы по контрольному примеру и возможные результаты применения предлагаемых и разработанных методов исследования. Апробация разработанных методов на фактическом материале показала их практическую пригодность.

Анализ энергетического состояния почвы на основе определения энергетических показателей почвенного органического вещества и их динамики позволит оценивать потенциалы природных и антропогенно измененных почвенных ресурсов, их изменения и потоки энергии при трансформации органического вещества почвы в агроландшафтах.

Научные основы и методы предназначены для специалистов, работающих в области почвоведения, экологии, земледелия, и рекомендуется для использования при проведении научно-исследовательских, научно-практических и практических работ.

Шкала оценки энергетических характеристик почв

Показатели	Уровни значения	Оценка
Степень изменения энергопотенциала органического вещества почвы, δ	$\Delta Q < 0; \delta > 0.008 Q$	критическая
	$\Delta Q < 0; 0.005 Q_t < \delta \leq 0.008 Q_t$	отрицательная
	$\Delta Q < 0; 0.001 Q_t < \delta \leq 0.005 Q_t$	слабая
	$0,001 < \delta \leq 0.001$	оптимальная
	$\Delta Q > 0; \delta \geq 0.001$	высокая положительная
Запасы энергии в гумифицированном органическом веществе (легкодоступной), $Q_{НВ}$	$< 0.01 Q_{Г}$	критические
	$(0.010 - 0.040) Q_{Г}$	низкие
	$(0.041 - 0.070) Q_{Г}$	средние
	$(0.071 - 0.100) Q_{Г}$	оптимальные
	$> 0.10 Q_{Г}$	высокие
Показатель устойчивости плодородия почвы, $П_y$	< 1	критический
	$1,0 - 1,5$	очень низкий
	$1,5 - 2,0$	низкий
	$2,1 - 5,0$	средний
	$5,1 - 8,0$	оптимальный
	$> 8,0$	высокий

8. Материалы по контрольному примеру

8.1. Исходные данные (слой 0 – 25 см)

Угодье, экспозиция	№ поля	Площадь, га	Почва, гранулометрический состав	Плотность почв, т/м ³	Общий гумус, %	Содержание по С, мг/кг почвы			НВ, т/га
						ЛГК	ЛФК	МБ	
Пашня, северная экспозиция	1	60	Чернозем типичный среднесуглинистый	1,11	5,68	1391	1971	540	3,33
	2	15	Чернозем типичный среднесуглинистый слабосмытый	1,14	5,25	1210	1895	510	2,92
	3	15	Чернозем типичный среднесуглинистый среднесмытый	1,18	3,02	989	1305	360	2,00
Луг разнотравный косямый, срез 7 см, северная экспозиция высота травостоя 75 см		8	Чернозем типичный среднесуглинистый	1,16	624	1300	2220	686	6,46
Лесополоса лиственная, северная экспозиция		4	Чернозем типичный среднесуглинистый	1,13	6,08	640	2580	658	12,32

8.2. Дополнительная информация по пашне

№ поля	Сахарная свекла, 1999 год				Ячмень, 2000 год			
	Урожай, ц/га	Удобрения		Обработка	Урожай, ц/га	Удобрения		Обработка
		Вид	Доза			Вид	Доза	
1	90,5	навоз N	30 т/га 60 кг д.в.	вспашка	29,1	N	30 кг д.в.	вспашка
2	90,5	навоз N	30 т/га 60 кг д.в.	вспашка	28,0	N	30 кг д.в.	вспашка
3	75,0	навоз N	10 т/га 60 кг д.в.	вспашка	26,5	N	30 кг д.в.	вспашка

№ поля	Черный пар, 2001 год				Озимая пшеница, 2002 год			
	Урожай, ц/га	Удобрения		Обработка	Урожай, ц/га	Удобрения		Обработка
		Вид	Доза			Доза	Вид	
1	—	—	—	вспашка	27,8	N	40 кг д.в.	вспашка
2	—	—	—	вспашка	25,8	N	40 кг д.в.	вспашка
3	—	—	—	вспашка	20,0	N	40 кг д.в.	вспашка

8.3.Дополнительная информация по лугу и лесополосе

Угодье	Запасы корней	Количество надземной фитомассы	Количество подстилки в лесу	Количество опада в лесу
	т/га			
Луг	9,45	3,15		
Лесополоса	35,0	—	2,5	6,0

8.4.Показатели энергетического состояния черноземных почв в агроландшафте в слое 0 – 25 см

Угодье	№ поля	Q _{иг}	Q _{лгк}	Q _{лфк}	Q _{мб}	Q _{нв}	Q	Q _{лс}	Q _{вт}	ПА ₀	П _у	ΔQ	ΔQ:Q
		ф. 4	ф. 9	ф. 10	ф. 14	ф. 16	ф. 3	ф. 17	ф. 18	ф. 19	ф. 20	ф. 37	
Пашня	1	3126	107	102	78	63	3476	3307	300	0,086	3,00	-6,5	-0,002
	2	2968	95	101	75	55	3294		285	0,086	2,47	-19,9	-0,005
	3	1849	80	72	40	38	2082		116	0,059	0,83	-28,8	-0,014
Луг		3533	155	126	103	122	4039		421	0,104	6,17	+4,0	+0,001
Лесо-полоса		3457	98	66	96	232	3949		462	0,117	13,59	+22,3	+0,006

ф. – формула

**8.5. Оценка энергетического состояния черноземных почв в агроландшафте
в слое 0 – 25 см**

Показатели	Пашня			Луг косимый	Лесная полоса
	Чернозем типичный				
	несмытый поле 1	слабосмытый поле 2	среднесмытый поле 3	Чернозем типичный	
Энергопотенциал органического вещества почвы (Q), гДж/га	3476 средний	3294 средний	2082 критический	4039 оптимальный	3949 оптимальный
Выделение энергии при трансформации органического вещества почвы, гДж/га	300 средний	285 низкий	116 критический	421 оптимальное	462 оптимальное
Изменение Q в год (ΔQ), гДж/га Степень изменения Q в год (δ)	-6,5 -0,002 слабая	-19,9 -0,006 повышенная	-28,8 -0,014 критическая	+4,0 -0,001 оптимальная	+22,3 +0,006 высокая положительная
Показатель активности энергетических процессов (PA_0)	0,086 средний	0,086 средний	0,059 низкий	0,104 оптимальный	0,0117 высокий
Показатель устойчивости плодородия (Py)	3,0 средний	2,5 средний	0,8 критический	6,2 оптимальный	13,6 высокий
Общая оценка уровня энергетического состояния почв	средний	средний	критический	оптимальный	оптимально-высокий
Рекомендации	Требуется регулирование энергетического состояния и повышение плодородия почвы за счет введения в севообороты многолетних бобовых трав, сидератов, пожнивных и промежуточных культур, внесения различных видов ОМУ, минимализации почвы		Почвы залужают или отводят под залежь		

9. Нормативные и справочные данные (приложение)

9.1. Коэффициенты пересчета (J) для определения запасов энергии в негумифицированном органическом веществе в черноземах типичных для различных угодий в зависимости от севооборота, обработки, внесения удобрений, угодий и экспозиции склона,

А. Северная экспозиция

Слой, см	Пашня							Лесополоса	Залежь	Луг
	ЗПП		ЗТР		Чистый пар					
	вспашка	плоскорезная обработка	вспашка	плоскорезная обработка	вспашка		плоскорезная обработка			
					без ОУ	ОУ				
0-25	0,024	0,050	0,072	0,082	0,011	0,020	0,020	0,088	0,068	0,150
25-50	0,020	0,035	0,050	0,036	0,005	0,008	0,007	0,058	0,058	0,040
0-50	0,022	0,042	0,061	0,058	0,008	0,017	0,013	0,073	0,063	0,095

Б. Водораздел

Слой, см	Пашня	Лесополоса	Залежь
0-25	0,025	0,099	0,072
25-50	0,020	0,088	0,067
0-50	0,022	0,093	0,070

В. Южная экспозиция

Слой, см	Пашня	Лесополоса	Луг
0-25	0,025	0,084	0,218
25-50	0,022	0,062	0,075
0-50	0,023	0,073	0,147

ЗПП – зернопаропропашной севооборот; ЗТР – зернотравяной севооборот,

9.2. Коэффициенты лабильности гумуса (λ) для различных угодий в зависимости от местоположения на склоне

Слой, см	Северная экспозиция (СЭ)				Водораздел	Южная экспозиция (ЮЭ)				
	Лесополоса, часть склона			Залежь		Лесополоса	Лесополоса, часть склона			Луг
	нижняя	средняя	верхняя		нижняя		средняя	верхняя	СЭ	ЮЭ
0-25	0,075	0,080	0,088	0,096	0,094	0,065	0,085	0,086	0,086	0,108
25-50	0,055	0,058	0,060	0,088	0,068	0,049	0,047	0,062	0,058	0,056
0-50	0,065	0,069	0,074	0,092	0,086	0,057	0,066	0,074	0,072	0,087

9.3. Коэффициенты лабильности гумуса (λ) для чернозема типичного па пашне в зависимости от экспозиции склона, севооборотов, обработки почвы и внесения органических удобрений

Севооборот	Глубина, см	Северная экспозиция				Водораздел		Южная экспозиция		
		Вспашка		Безотвальная обработка	Минимальная обработка	Без удоб.	ОУ	Вспашка		
		без удоб.	ОУ					без удоб.	ОУ	
Зернопаро-пропашной	0-10	0,095	0,105	0,076	0,084	0,090 0,087	0,092	0,057	0,065	
	10-20	0,093	0,100	0,100	0,090		0,089	0,050	0,057	
	20-30	0,076	0,034	0,088	0,088		0,070	0,073	0,040	0,041
	30-40	0,068	0,073	0,087	0,087		0,060	0,062	0,037	0,038
Зернотра-вяной	0-10	0,091	0,100	0,078		0,094	0,092	0,056	0,065	
	10-20	0,084	0,098	0,097		0,094	0,089	0,051	0,057	
	20-30	0,080	0,087	0,080		0,070	0,073	0,042	0,040	
	30-40	0,075	0,080	0,079		0,065	0,063	0,036	0,038	

ОУ - органические удобрения 12 т/га навоза в год

9.4. Коэффициенты пересчета для определения выделения энергии при трансформации лабильной части органического вещества черноземных почв (K_d)

Угодье	Пашня		Лесополоса	Луг	Залежь
	зернопаропропашной севооборот	зернотравяной севооборот			
Местоположение в рельефе					
Склон северной экспозиции	0,0678	0,0698	0,0754	0,1020	0,1036
Плакор	0,0616	0,0638	0,0758	0,1030	
Склон южной экспозиции	0,0702	0,0719	0,0945	0,1051	

9.5. Коэффициент микробной биомассы (R) для различных угодий агроландшафта в зависимости от севооборота

Угодье	Пашня		Луг, залежь	Лес, лесополоса
	зернопаропропашной севооборот	зернотравяной севооборот		
Слой почвы, см				
0-10	0,14	0,16	0,17	0,18
10-20	0,16	0,19	0,20	0,19
20-30	0,18	0,18	0,19	0,19
30-40	0,14	0,16	0,18	0,17
40-50	0,12	0,14	0,16	0,15
0-25	0,15	0,17	0,19	0,19
0-50	0,15	0,16	0,18	0,18

9.6.Теплота сгорания различных форм органического вещества почвы

Почва	Слой почвы, см	Теплота сгорания, кДж/г		
		лабильных гуминовых кислот (q_8)	фульвокислот (q_9)	микробной биомассы (q_{10})
Чернозем типичный	0-25	19,05	12,88	25,97
	25-50	17,59	12,63	25,67
Чернозем выщелоченный	0-25	18,85	12,88	25,55
	25-50	17,63	12,63	25,38

9.7.Коэффициенты, необходимые для определения выделения энергии при трансформации лабильной части органического вещества черноземных почв

Показатели	Местоположение в рельефе, экспозиция склона	Обозначения	Значения
Скорость распада лабильных гумусовых веществ за год	Водораздельное плато или северная экспозиция	К1	0,1
	Южная		0,2
Степень разложения за год в почве негумифицированного органического вещества	Водораздельное плато или северная экспозиция	К2	0,6
	Южная		0,7
Количество сменяющихся за год популяций микроорганизмов	Водораздельное плато или северная экспозиция	К3	3,0
	Южная		4,0

9.8. Коэффициенты гумификации растительного вещества

Обозначения	Вид растительного вещества	Значения
Кгнф	Надземная часть: травы многолетние	0,20
	разнотравье	0,18
	злаково-разнотравно-бобовые	0,25
	ЛЮПИН	0,15
Кгк	злаковое разнотравье	
	Корни растений травянистых	0,20
Кгпод	древесных	0,20
	Подстилка: в лиственном лесу	0,08
Кгоп	в хвойном лесу	0,06
	Опад в дубовом лесу	0,08
	березовом лесу	0,10
	липовом	0,12
	хвойном лесу	0,07

9.9. Коэффициенты пересчета на устойчивое растительное вещество (К')

Растения и его части	К'	Растения и его части	К'
Хвойные		Злаковые	0,14
хвоя	0,21	Злаково-бобовые	0,12
древесина	0,40	Бобовые	0,08
корни	0,28	Бобово-злаковые	0,13
Лиственные		Корни трав	0,30
листья	0,21	Водоросли	0
древесина	0,32	Лишайники	0,10
корни	0,25	Мхи	0,15
Папоротники	0,30	Травы	0,25
Хвощи	0,30	Злаково-разнотравно- бобовые	0,20
Подстилка	0,28		

9.10. Коэффициенты, показывающие часть фитомассы, остающейся на поверхности почвы (К) на косимом и некосимом лугу

Луг	Тип травостоя	Высота травостоя, см	К при высоте среза			
			5 см	7 см	10 см	15 см
Косимый	Разнотравно- бобовые	100	0,05	0,10	0,15	0,25-0,30
		75	0,10	0,15	0,20	0,30-0,35
		50	0,10-0,15	0,20-0,25	0,25-0,30	0,40-0,45
		25	0,20-0,25	0,25-0,35	0,35-0,45	0,55-0,60
Косимый	Злаково- разнотравно- бобовый с преобла- данием прикорне- вых листьев и недо- развитых побегов	45	0,05-0,20	0,25-0,30	0,35-0,40	0,50-0,60
		50	0,20-0,25	0,30-0,35	0,40-0,50	0,60-0,70
		25	0,40-0,50	0,50-0,60	0,60-0,70	0,70-0,80
Косимый	Злаково-осоковый, равномерно облист- венный с преобла- данием верховых растений	100	0,05-0,10	0,10-0,15	0,20-0,25	0,25-0,35
		75	0,10-0,15	0,10-0,25	0,25-0,30	0,40-0,50
		50	0,15-0,25	0,25-0,35	0,35-0,45	0,50-0,60
		25	0,25-0,35	0,30-0,35	0,40-0,50	0,60-0,65
Некосимый	Любой		1	1	1	1

9.11.Теплота сгорания сухого органического вещества растений (по данным многих авторов)

Растительное вещество	Обозначения	Теплота сгораний, МДж/кг
Травянистые растения		
Большинство травянистых растений		
Побеги	q_1	18,0
Корни	q_2	16,0
Семена	q_1	19,0
Бобовые	q_1	19,0
Однолетние травы (сено)	q_1	16,0
Многолетние травы (сено)	q_1	18,0
Корни многолетних трав	q_2	16,0
Древесные растения		
Листопадные деревья		
Листья (опад)	q_6	19,0
Древесина ствола (отпад)	q_6	18,0
Корни	q_3	17,0
Подстилка в лиственном лесу	q_4	18,0
Хвойные растения		
Хвоя (опад)	q_6	20,5
Древесина ствола (опад)	q_6	19,8
Подстилка в хвойном лесу	q_4	19,0

9.12.Коэффициенты минерализации гумуса (Км)

На лугу – 0,006; в лесу, лесополосе – 0,010.

9.13.Теплота сгорания гумуса (q_7) – 21,65 мДж/кг.

Теплота сгорания пожнивно-корневых остатков (q) – 18.84 мДж/кг.

Теплота негумифицированного органического вещества (q_5) - 18,84 мДж/кг.

Теплота сгорания органических удобрений (q_{11}): навоза - 26,62 мДж/кг; торфонавозного компоста – 29,75 мДж/кг; соломы озимой пшеницы, овса, озимой ржи – 18,67 кДж/кг; ячменя – 18,71 кДж/га; гороха – 18,38 кДж/кг.

9.14. Коэффициенты гумификации растительных остатков (K_1)

Группы сельскохозяйственных культур	K_1
Зерновые, травы многолетние	0,20
Кормовые, силосные	0,15
Пропашные	0,07
Люпин в период цветения	0,25

9.15. Характеристика органических веществ

Вид органического вещества	Коэффициент гумификации, K_5	Содержание сухого вещества в органических удобрениях, $CO_{Уоу}$	Коэффициент пересчета на углерод органических удобрений, $Co_{у}$ или $Sp_{о}$
Навоз подстилочный	0,09	0,30	0,50
Навоз бесподстилочный	0,045	0,10	0,50
Компост	0,15	0,40	0,50
Торф	0,15	0,40	0,50
Солома	0,10	0,35	0,40
Сапрпель	0,025	0,20	0,50
Пожнивно-корневые остатки		0,80	0,40

9.16. Поправочные коэффициенты на негумифицированное органическое вещество (F)

Годы	Чистый пар	2-5	6-8	>8
F	0,2	0,3	0,2	0,1

9.17. Поправочные коэффициенты на растительные остатки (K_6)

Зерновые	1,45
Кормовые, силосные	1,67
Пропашные	1,53
Травы, люпин	1,5

9.18. Коэффициенты (a , a_1) и свободные члены (b , b_1) из регрессионных уравнений расчета содержания пожнивных и корневых остатков сельскохозяйственных культур

Культура	Урожай, ц/га	Для пожнивных остатков		Для корневых остатков		Содержание N, кг/ц
	У	a	b	a_1	b_1	
1	2	3	4	5	6	7
Рожь озимая	≤ 25	0,3	3,2	0,6	8,9	3,0
	> 25	0,2	6,3	0,5	13,9	
Пшеница озимая	≤ 25	0,4	2,6	0,9	5,8	3,4
	> 25	0,1	8,9	0,7	10,2	
Пшеница яровая	≤ 20	0,4	1,8	0,8	6,5	3,6
	> 20	0,2	5,4	0,8	6,0	
Ячмень	≤ 20	0,4	1,8	0,8	7,5	2,6
	> 20	0,09	7,6	0,4	13,4	

1	2	3	4	5	6	7
Овес	≤20	0,3	3,2	1,0	2,0	3,1
	>20	0,15	6,1	0,4	16,0	
Просо	≤20	0,2	5,0	0,8	7,0	3,3
	>20	0,3	3,3	0,56	11,2	
Кукуруза на зерно	>10	0,23	3,5	0,8	5,8	1,8
Горох	≤20	0,14	3,5	0,66	7,5	5,0
	>20	0,20	1,7	0,37	12,9	
Гречиха	≤15	0,25	4,3	1,1	5,3	3,0
	>15	0,20	5,2	0,54	14,1	
Подсолнечник	>в	0,40	3,1	1,0	6,6	2,6
Картофель	≤200	0,04	1,0	0,08	4,0	0,6
	>200	0,03	4,1	0,06	8,6	
Свекла сахарная	≤200	0,02	0,8	0,07	4,5	0,59
	>200	0,03	2,3	0,06	5,4	
Овощи	≤200	0,02	1,5	0,05	5,0	0,28
	>200	0,006	3,6	0,004	6,0	
Корнеплоды	≤200	0,01	1,0	0,05	5,5	0,42
	>200	0,03	2,4	0,05	5,2	
Лен	3-10	0	0	1,3	9,4	1,2
Конопля	3-10	0	0	2,2	9,1	1,2
Силосные (без кукурузы)	100-200	0,04	4,0	0,09	7,0	
Кукуруза на силос	≤200	0,03	3,6	0,12	8,7	0,33
	>200	0,02	5,0	0,08	16,2	
Травы однолетние	10-40	0,13	6,0	0,7	7,6	1,8
Травы многолетние	≤40	0,2	6,0	0,8	11,0	2,3
	>40	0,1	10,0	1,0	15,0	

9.19.Отдельные справочные данные

Поправочные коэффициенты

А) на культуру

К_з

травы

1,0

зерновые

1,2

пропашные

1,6

Б) на гранулометрический состав

К₂

глинистые

0,8

тяжелосуглинистые

0,8

среднесуглинистые

1,0

легкосуглинистые

1,2

супесчаные

1,4

В) Содержание сухого органического вещества в пожнивно-корневых остатках (С_{по}) – (0,8)

Г) Коэффициент потери гумуса в почве черного пара (К₄) - 0,02

9.20. Коэффициенты уменьшения потери гумуса при почвозащитных обработках по сравнению со вспашкой (K₀)

Обработка	K ₀
Плоскорезная	0,20
Минимальная	0,23
Вспашка	0

5.21. Коэффициенты азотфиксации бобовых растений (AN)

Культура	AN
Горох	0,40
Горох с овсом	0,20
Вико-овсяная смесь	0,20
Многолетние бобовые травы	0,60

9.22. Коэффициенты гумификация навоза в ЦЧЗ (K₅)

Почва	Сроки и периодичность внесения	Слой внесения	Коэффициент гумификации, K ₅
Чернозем типичный	1 раз в 5 лет	0-10 см	0,075
		0-22 см	0,066
Чернозем типичный	ежегодно	0-10 см	0,087
		0-22 см	0,099
Чернозем выщелоченный	1 раз в 4-5 лет	пах	0,069
	ежегодно	пах	0,081
Темно-серая лесная	1 раз в 4-5 лет	пах	0,060

10. Литература

1. Алиев С.А. Биоэнергетика органического вещества почв. – Баку: ЭЛМ, 1973. – 66 с.
2. Алиев С.А. Экология и энергетика биохимических процессов превращения органического вещества. –Баку: ЭЛМ, 1978. –253 с.
3. Аристовская Т.В. Теоретические аспекты проблемы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов //Вопросы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. –Л.: Наука, 1972. –С. 7-19.
4. Белякова О.И. Воздействие абиотических факторов на интенсивность деструкции в степных экосистемах с разным уровнем антропогенного воздействия //Проблемы сохранения и оценки состояния природных комплексов и объектов: Материалы научно-практической конференции, посвященной 70-летию Воронежского биосферного государственного заповедника (8-11 сентября, 1997 г). –Воронеж: Биомик, 1997. –С. 67.
5. Белякова О.И. Значение биотических факторов в деструкционных процессах лесных и степных экосистем //Проблемы сохранения и оценки состояния природных комплексов и объектов: Материалы научно-практической конференции, посвященной 70-летию Воронежского биосферного государственного заповедника (8-11 сентября, 1997 г). –Воронеж: Биомик, 1997. –С. 68.
6. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах –Л.: Наука, 1971. –314 с.
7. Благодатский С.А., Благодатская Е.В., Горбенко А.Ю., Паников Н.А. Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве //Почвоведение. – 1987. №4. – С. 64-71.
8. Волобуев В.Г. Введение в энергетику почвообразования. –М.: Наука, 1974. – 128 с.
9. Володин В.М., Масютенко Н.П. Энергетические показатели черноземных почв //Доклады РАСХН. –1993. №6. –С. 12-15.
10. Володин В.М., Масютенко Н.П., Юринская В.Ф. Изменение состава гумусовых веществ и биологической активности эродированных черноземов при минимализации обработки //Вестник с.-х. науки. –1998. №2 (377). –С. 55-59.
11. Володин В.М., Масютенко Н.П., Юринская В.Ф. Модель управления балансом органического вещества и биологическими свойствами почв ЦЧЗ //Прогноз развития эро-

зионных процессов и устойчивость агроландшафтов к воздействию естественных и антропогенных факторов: Сб. науч. тр. /ВНИИЗиЗПЭ. -Курск, 1990. –С. 75-86.

12. Володин В.М., Щербаков А.П., Масютенко Н.П. Энергетическое состояние черноземов ЦЧО /Агрогенная эволюция черноземов. –Воронеж: Воронежский государственный университет, 2000. –С. 101-119.

13. Гейдебрехт В.В. Распределение микроорганизмов по профилю почв разных типов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1999. -26 с.

14. Гильманов Т.Г., Базилевич Н.И. Количественная оценка источников гумусообразования русского чернозема (концептуально-балансовая модель) //Вестник МГУ. Сер. 17 Почвоведение. –М.: изд-во МГУ, 1983. №.6 –С. 9-16.

15. Голубев В.Н., Махаева Л.В., Кожевникова С.К. Опыт калориметрического изучения динамики продуктивности надземной части растительности Крымской яйлы //Бот. ж. –1967. №9. –С. 31-36.

16. Гончар-Зайкин П.П., Журавлев О.С., Коновалов Н.Ю. Управление гумусовым режимом в структуре почвенного покрова. //Вестник с.-х. науки. –1987. №4. –С. 13-20.

17. Горбенко А.Ю., Паников Н.С., Звягинцев Д.Г. Периодичность роста микроорганизмов в почве и ее причины //Докл. АН СССР. –1986. –т. 289. №4. –С. 984-988.

18. Гришина Л.А. Биологический круговорот и его роль в почвообразовании. –М.: изд-во МГУ, 1974. –55-125 с.

19. Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. –М.: Изд-во МГУ, 1986. –243 с.

20. Дмитриев Д.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1972. –292 с.

21. Дмитриев Е.А. Об оценке достаточного объема выборочных наблюдений. //Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. –М.: Наука, 1970. –С. 200-209.

22. Дылис Н.В., Носова Л.М. Фитомасса лесных биогеоценозов Подмосковья. –М.: Наука, 1977. –143 с.

23. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. -М., 1987. –С. 15-38.

24. Кирюшин В.И., Ганжара Н.Ф., Кауричев И.С., Орлов Д.С., Титлянова А.А., Фокин Д.А. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. –М.: Изд-во МСХА им. К.А. Тимирязева, 1993. –99 с.

25. Ковда В.А., Якушевская И.В. Биомасса и продуктивность некоторых ландшафтов суши //Биосфера и ее ресурсы. –М.: Наука, 1971. – с.

26. Когут Б.М. Влияние длительного сельскохозяйственного использования на гумусовое состояние чернозема типичного //Органическое вещество пахотных почв: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. –М., 1987. –С. 113-126.
27. Когут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании //Почвоведение. – 1998. №7. – С. 794-802.
28. Когут Б.М., Масютенко Н.П. О некоторых изменениях типичного чернозема под влиянием плоскорезной обработки. //Почвоведение, 1990. №1, -С. 148-153..
29. Когут Б.М., Масютенко Н.П. Элементный состав лабильных гуминовых кислот черноземов //Почвоведение. –1992. №1. –С. 91-94.
30. Когут Б.М., Масютенко Н.П., Гатилова С.Я., Ермакова А.А. Межлабораторная воспроизводимость результатов анализа содержания лабильных гумусовых веществ типичного чернозема. НТБ ВНИИЗиЗПЭ, вып. 4 (59) -88, Курск, 1988, -С. 29-34.
31. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. –М: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
32. Коулман Д.К., Коул К.В., Эллиотт Э.Т. Распад и круговорот органического вещества и динамика питательных веществ в агроэкосистемах //Сельскохозяйственные экосистемы (перевод с англ.). –М.: Агропромиздат, 1987. –С. 85-103.
33. Кудеяров В.М., Кузнецова Т.В., Лешко В.А. Размеры несимбиотической азот-фиксации в серой лесной почве, установленные по балансу азота активной фазы органического вещества //Почвенно-агрохимические и экологические проблемы формирования высокопродуктивных агроценозов: Тез. докл. Всес. конф. –Пушино, 1988. –С. 96-97.
34. Лархер Ф.Н. Экология растений. –М.: Мир, 1978. –134 с.
35. Лыков А.М. К методике расчетного определения гумусового баланса почвы в интенсивном земледелии //Изв. ТСХА. –1979. №6. –С.14-20.
36. Масютенко Н.П. Анализ и оценка энергетических процессов в почве и оптимизация структуры угодий в агроландшафтах /Земледелие в XXI веке. Проблемы и пути их решения. Доклады Всероссийской научно-практической конференции. РАСХН. ВНИИЗиЗПЭ. –Курск, 2001. –С. 78-83.
37. Масютенко Н.П., Панкова Т.И. Энергетические функции органического вещества черноземов // Земледелие.-2004. № 3. - С.11-12.
38. Масютенко Н.П., Когут Б.М., Татошин И.Ф. Закономерности влияния обработок почвы на содержание, состав и природу гумусовых веществ черноземов //Прогноз развития эрозионных процессов и устойчивость агроландшафтов к воздействию естественных и антропогенных факторов: Сб. науч. тр. ВНИИЗиЗПЭ. –Курск, 1990. –С. 86-101.

39. Методика определения и оценки структуры энергопотенциала органического вещества почвы в агроландшафтах /Володин В.М., Масютенко Н.П. –РАСХН. ВНИИЗиЗПЭ. –Курск: Издательский центр "ЮМЕКС", 2000. –29 с.
40. Методика оптимизации структуры угодий в агроландшафте на энергетической основе. /Володин В.М., Масютенко Н.П., Еремина Р.Ф. –РАСХН. ВНИИЗиЗПЭ. –Курск: Издательский центр. ЮМЕКС, 2000. –52 с.
41. Мирчинк Т.Г., Паников Н.С. Современные успехи в оценке биомассы и продуктивности грибов и бактерий в почве //Успехи микробиологии. –М.: Наука, 1985. –Т. 20. –С. 198-226.
42. Мордкович В.Г, Волковинцер В.В., Мордкович Г.Н., Шамолин В.А. Сезонный ход трансформации корневых остатков в черноземно-луговой почве в связи с динамикой активности гетеротрофов деструкторов //Структура, функционирование и эволюция систем биогеоценозов. Т. 2. Новосибирск: Наука, 1976. – С. 401-437.
43. Никитин Б.А. Методы определения содержания гумуса в почве //Агрохимия. – 1972. №3. – С. 123-125.
44. Никитин Б.А. Уточнения к методике определения гумуса в почве //Агрохимия. – 1983. №8. – С. 101-106.
45. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. –М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. –333 с.
46. Орлов Д.С. Проблемы контроля и улучшения гумусного состояния почв. //Научн. доклады высш. школы. Биол. науки. –1981. №2. –С. 9-20.
47. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. –М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. –272 с.
48. Программа и методика биогеоценологических исследований /Отв.ред.Н.В.Дылис.-М.:Наука,1974.- 401 с.
49. Пупонин А.И., Захаренко А.В. Энергетический потенциал органического вещества дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при разных системах механической обработки и удобрения //Известия ТСХА. –1998. №1. –С. 41-55.
50. Пупонин А.И., Захаренко А.В. Запасы энергии в органическом веществе дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при разных способах механической обработки //Почвоведение. – 1998. №.7. – С. 820-824
51. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах –Л.:Наука, 1968.- 143 с..

52. Романов С.В. Биоэнергетика агроландшафтов западного Прикаспия: Тез. Доклады 2 съезда общества почвоведов, (С.-Петербург 27-30 июня 1996). Кн. 1. – С.-Петербург: РАН, -1996. – С. 11-12.
53. Рыжова И.М. Анализ гумусонакопления в зональных природных экосистемах на основе математической модели //Вестник МГУ. –1991. №1. –С. 28-33.
54. Салищев С.А. Гелеобразные корневые выделения растений и их действие на почву и корневую микрофлору. //Методы изучения продуктивности корневых систем. Международный симпозиум. -Л., 1968. –С. 53.
55. Самедов П.А. Значение калорийности растений в энергетике гумусообразования//Тез. Доклады 8 съезда общества почвоведов. -Новгород, 1989. –т. 2. –С. 83.
56. Сегетева В. Энергетический баланс в растениеводстве. Обзор МС АГРОИНФОРМ //Пер. с чешского. –Прага, 1983. – С. 47.
57. Советский энциклопедический словарь /Под ред.А.М. Прохорова.-М.:“Советская энциклопедия”, 1984.-С.1043.
58. Справочник по луговодству. –М.: Московский рабочий, 1976. –С. 143-147.
59. Тейт Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты: Пер. с англ. –М.: Мир, 1991. –400 с.
60. Титлянова А.А. Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. –Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. –221 с.
61. Титова Н.А., Когут Б.М. Трансформация органического вещества при сельскохозяйственном использовании почв //Итоги науки и техники. ВНИИТИ, Сер. Почвоведение и агрохимия. –М. 1991. -156 с.
62. Тюрин И.В. Органическое вещество почвы. –М. –Л.: Сельхозиздат, Ленинградское отделение, 1937. -287 с.
63. Фокин А.Д. Задачи и методы полевых органо-балансовых исследований //Почвоведение. – 1984. №8. – С. 117-119.
64. Фокин А.Д., Бойнчан Б.П. Определение коэффициентов гумификации органических веществ в почве изотопно-индикаторным методом //Доклады ВАСХНИЛ. -1981. №9. –С. 20-22.
65. Шатилов И.С., Замаев А.Г., Чаповская Г.В., Игинова Н.А. Калорийность полевых культур //Доклады ТСХА. –1971. –Вып. 175. –С.16-19.
66. Шатохина Н.Г., Карван Г.В. Биомасса микроорганизмов как часть органического вещества почвы в черноземах выщелоченных Приобья //Проблема гумуса в земледелии: Тез. Доклады совещ. 5-8 авг. 1986. -Новосибирск, 1986. – С. 91-92.

67. Шишов Л.Л., Дурманов Л.Н., Карманов И.И., Ефремов В.В. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почвы. –М.: Агропромиздат, 1991. –304 с.
68. Энергетическая эффективность возделывания сельскохозяйственных культур //Методические рекомендации. –Волгоград, 1985. – 43 с.
69. Batter R. Response of microbial biomass to alternate moist and dry conditions in a soils inculcated with ^{14}C and ^{15}N labeled plant material soils Biol. //Biochem. –1985. –17. –P. 329-337.
70. Dalal R.C. Mineralization of carbon and phosphorus from carbon – 14 and phosphorus – 32 labelled plant material added to soil //Soil soc. Amer. J. – 1976. -43. -5 –P. 913-916.
71. Marumoto T. Mineralisation of C and N from microbial biomass in padav soil //Plant and soil. –1984. –76. №1-3. –P. 105-173.
72. Verbirne E.L.T., Hassink T.R. de Wilfegen, Groot T.T.L., T.A. van Ween. Modeling organic matter dynamic in different soils Netherlands //Jornal of Agricultural Science. – 1990. №38. №3 (A). –P. 221-238.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
2. Условные обозначения.....	4
3. Научные основы и положения методологического подхода к оценке энергетического состояния почв.....	7
4. Методы определения энергетических показателей почвы.....	13
4.1. Методы определения энергопотенциала органического вещества почвы.....	13
4.2. Метод определения выделения энергии при трансформации органического вещества почвы.....	17
4.3. Методы расчета показателей энергетического состояния почвы....	19
-показателя активности энергетических процессов ОВП.....	19
-степень изменения энергетического состояния почвы за год.....	20
-показатель устойчивости плодородия почвы.....	20
-термодинамических показателей гумусовых кислот.....	21
5. Определение изменения энергетического состояния почвы за оцениваемый период.....	22
-содержания энергии в негумифицированном органическом веществе.....	22
-энергопотенциала органического вещества пахотных почв.....	22
-изменение энергопотенциала органического вещества почвы во времени на лугу, в лесу и лесополосе.....	23
6. Методика определения потоков энергии при трансформации органического вещества в почве в агроландшафте.....	24
7. Система оценки энергетического состояния почвы.....	29
7.1. Показатели, используемые при оценке энергетического состояния почвы.....	29
7.2. Шкалы оценки показателей энергетического состояния почвы.....	29

7.3. Анализ и оценка энергетического состояния почвы. Рекомендации.	29
8. Материалы по контрольному примеру.....	36
9. Нормативные и справочные материалы (приложение).....	40
10. Литература.....	53
11. Содержание.....	59

Сдано в набор 20.10.2004 г. Подписано в печать 20.10.2004 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага Айсберг. Объем 3,75 усл. печ. л.
Гарнитура Times New Roman
Тираж 150 экз. Заказ № 70.

Отпечатано: ПБОЮЛ Киселева О.В.
ОГРН 304463202600213