

В.И. Панасин, Д.А. Рымаренко ГУМУС И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ



**В.И. Панасин
Д.А. Рымаренко**

**ГУМУС И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Калининград
2004

КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФГУ «Центр агрохимической службы «Калининградский»

В.И. Панасин, Д.А. Рымаренко

ГУМУС И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Монография

Издательство
Калининградского государственного университета
2004

УДК 631.417.2
ББК 40.3
П 16

Рецензент

доктор биологических наук *В.П. Дедков*

Панасин В.И., Рымаренко Д.А.

П 16 Гумус и плодородие почв Калининградской области:
Монография. – Калининград: Изд-во КГУ, 2004. – 220 с.
ISBN 5-88874-491-3

Представлены результаты фундаментальных исследований гумусного состояния почв Калининградской области. Рассмотрены условия гумусообразования в различных экосистемах, влияние количества и состава гумуса на плодородие и химические свойства почв.

Материал полезен широкому кругу специалистов: экологам, агрохимикам, почвоведом, биологам, агрономам, фермерам, научным работникам и студентам.

УДК 631.417.2
ББК 40.3

ISBN 5-88874-491-3

© Панасин В.И.,
Рымаренко Д.А., 2004

ВВЕДЕНИЕ

Почвенное органическое вещество является субстанцией, определяющей основное свойство почв – их плодородие, а также служит одной из форм аккумуляции солнечной энергии. Почвенное органическое вещество играет общепланетарную роль в накоплении и распределении энергии и химических элементов в педосфере. От запасов органического вещества во многом зависит биопродуктивность территорий на Земле.

Практически все свойства почвы – биологическая активность, водно-физические и буферные свойства, обменная и поглощательная способность – находятся в прямой зависимости от содержания и состава почвенного органического вещества. Наиболее заметно влияние гумусовых веществ на физические свойства почвы. Более гумусированная дерново-подзолистая почва имеет прочную структуру не только в пахотном, но и в подпахотном горизонтах. Запасы органического вещества определяют ряд таких важнейших свойств почвы, как теплоёмкость, теплопроводность, ёмкость поглощения, плотность. При увеличении гумусированности возрастает удельная поверхность почвы.

Рост содержания органического вещества приводит к закономерному увеличению запасов элементов питания, находящихся в относительно доступной для растений обменно-поглощённой форме. Вместе с тем гумусовые вещества способны необменно фиксировать токсичный для растений алюминий, а также избытки аммонийного и амидного азота. Благодаря ярко выраженным буферным свойствам гумусовые вещества обладают протекторными свойствами по отношению ко многим токсикантам – пестицидам, тяжелым металлам и т. д. Таким образом, положительная роль гумуса далеко выходит за

рамки агропочвоведения. Органическое вещество играет существенную экологическую роль в функционировании естественных и антропогенно преобразованных экосистем.

Органическое вещество почвы весьма гетерогенно по составу, структуре и свойствам. Основную массу органического вещества составляют специфические высокомолекулярные соединения – гумусовые вещества. Свойства гумусовых веществ определяются их строением и формами связи с минеральными компонентами почвы. Наибольшую химическую активность проявляют свободные гумусовые кислоты, их соли с одновалентными катионами, а также неспецифические низкомолекулярные органические вещества. Прочно связанный с минеральными глинистыми частицами гумус относительно инертен, но его влияние на водно-физические свойства почвы весьма велико.

Гумусовые вещества являются продуктом жизнедеятельности биогеоценозов, их состав и свойства определяются видовым составом растительности и условиями гумификации растительных остатков. Это обуславливает зональность основных параметров гумусового режима почв, а также региональные особенности количества и состава гумуса. В прошлом при изучении гумусового режима делался акцент на выработку технологий поддержания бездефицитного или положительного баланса гумуса. На современном этапе развития науки основное внимание уделяется не только оптимизации количества и запасов почвенного органического вещества, но и его качеству.

За последнее время опубликовано большое количество работ, освещающих различные аспекты гумусного состояния почв Европейской части России. Региональные почвенно-климатические особенности – длительный период биологической активности при отсутствии дефицита влаги и умеренных температурах – обусловили определённую специфику формирования количественных и качественных параметров гумусного состояния почв.

Большая динамичность процессов гумификации, высокая миграционная способность ряда фракций гумуса наложила отпечаток на морфологию и химизм основных типов и разновидностей почв Калининградской области. Эти особенности не позволяют механически перенести закономерности формирования гумусного состояния почв континентальных районов страны на условия Калининградской области.

В данной работе рассматриваются условия формирования гумуса наиболее распространённых типов почв под лесами, пастбищами, сенокосами и пашней. Вскрываются региональные особенности параметров количественного и качественного состава гумуса, выявляется их связь с содержанием и запасами элементов питания растений, приводятся различные модели расчёта баланса органического вещества в земледелии, намечаются подходы к созданию технологии оптимизации гумусного состояния пахотных почв региона.

Глава 1 || ПОВННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГУМУСООБРАЗОВАНИЯ

1.1. Факторы, воздействующие на гумусообразование и закрепление органического вещества в почвенном профиле

Гумусообразование – процесс формирования динамической системы органо-минеральных соединений в профиле почв, соответствующей экологическим условиям ее функционирования. Общая схема процесса гумусообразования представлена на рисунке 1.

Под термином «гумусообразование» следует понимать все характерные процессы формирования и эволюции почв: разложение поступающих в почву свежих органических веществ, взаимодействие органических веществ с минеральной частью почвы, миграцию и аккумуляцию органо-минеральных соединений. Разложение поступающих в почву свежих органических веществ осуществляется с помощью катализируемых ферментами химических реакций, гидролиза, декарбоксилирования, дезаминирования, окисления. Для разложения свежих органических остатков требуется наличие свободного кислорода, достаточное количество воды (оптимальная влажность составляет 60 – 80% от полной влагоемкости). Промежуточные продукты разложения частично подвергаются полной минерализации до простых солей, газов и воды, частично гумифицируются.

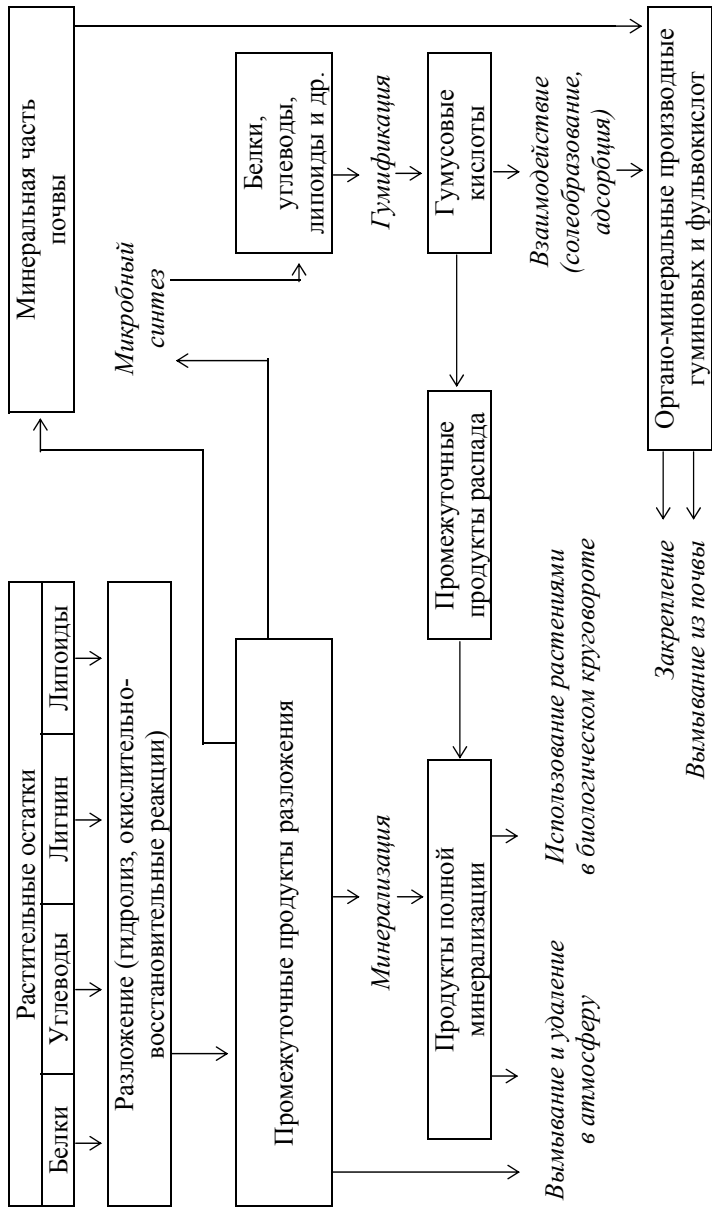


Рис. 1. Процесс гумусообразования в почве [Александрова, 1980]

Гумификация – образование высокомолекулярных гумусовых веществ специфической природы из промежуточных продуктов распада свежих органических веществ. Существует несколько концепций гумификации, которые дополняют одна другую. Все они в той или иной степени подтверждены экспериментально.

Концепция биохимического окисления предложена И.В. Тюриным, а детально разработана и экспериментально проверена Л.Н. Александровой. Согласно указанной концепции в процессе гумификации ведущее значение имеют реакции медленного биохимического окисления различных высокомолекулярных веществ, для которых характерно циклическое строение: лигнина, высокомолекулярных углеводов. Окислению подвергаются все структурные компоненты лигно-углеводной матрицы, доступные ферментным системам микроорганизмов. Процесс протекает непосредственно в остатках, не утративших морфологического строения. Одновременно с реакциями окисления происходит деструкция биополимеров матрицы, в процессе которой образуются свободные радикалы. Кислые функциональные группы и свободные радикалы взаимодействуют с нейтральной частью почвы и продуктами распада азотосодержащих молекул. По мере разрушения лигно-углеводной матрицы сформированная система новообразованных гумусовых кислот отщепляется и закрепляется в почве. Отщепившиеся гумусовые вещества имеют разную молекулярную массу и различное соотношение ароматических, протеиновых и углеводных фрагментов, что объясняется их полидисперсностью и гетерогенностью [Александрова, 1980; Сафонов, 1996].

В работах М.М. Кононовой сформулирована концепция биохимической конденсации и полимеризации, в основе которой лежит представление о поэтапном процессе гумификации. На первом этапе свежие растительные остатки разлагаются до низкомолекулярных продуктов – аминокислот, фенолов, хинонов, олигосахаров. Затем при участии выделяемых почвенной микрофлорой ферментов происходит биохимическая конденса-

1.1. Факторы гумусообразования и закрепления органического вещества в почве

сация полупродуктов разложения растительных остатков. Процесс полимеризации на заключительных стадиях гумусообразования рассматривается как чисто химический, протекающий при взаимодействии органического вещества с минеральной частью почвы.

Разновидности вышеназванной концентрации разработаны в трудах немецких ученых – В. Фляйга, В. Шеффера, Б. Ульриха [Ганжара, 2001].

В 70-х годах Д.С. Орловым разработана кинетическая теория гумификации, с точки зрения которой гумификация включает в себя совокупность процессов превращения исходных органических веществ в специфические гумусовые вещества, а также накопления и соотношения их в почве. В процессе гумификации происходит отбор наиболее термодинамически устойчивых органических соединений – гуминовых кислот и их соединений – с почвенными многозарядными катионами: кальцием, магнием, алюминием, железом.

Глубина гумификации выражается уравнением:

$$H = F(Q, J, t),$$

где Q – общий объем ежегодно поступающих и подвергающихся гумификации растительных остатков;

J – интенсивность их трансформации, пропорциональная биохимической активности почв;

t – время взаимодействия почвы на поступающие остатки, близкое к длительности вегетационного периода.

Глубина гумификации – степень преобразования растительных остатков в специфические гумусовые вещества – характеризуется отношением $C_{гк} : C_{фк}^*$ [Орлов, 1990]. Изучение гумусного состояния почв зонального ряда выявило тесную корреляционную связь между отношением $C_{гк} : C_{фк}$ и периодом биологической активности почвы

* $C_{гк}$ – здесь и далее углерод гуминовых кислот; $C_{фк}$ – здесь и далее углерод фульвокислот.

(ПБА). Для зональных почв умеренно-континентальных фаций Восточно-Европейской равнины коэффициент корреляции между ПБА и $C_{гк} : C_{фк}$ составляет $+0,96 \pm 0,18$. Однако при рассмотрении почв южноевропейской или восточносибирской фации такой корреляции не наблюдается. Для почв влажных субтропических и тропических областей определяющим фактором является химический состав почвообразующих пород.

Теория обновления гумусовых веществ разработана в 70-х годах А.Д. Фокиным. Согласно его концепции при разложении растительного материала образуются неспецифические продукты, которые взаимодействуют с уже имеющимися в почве гумусовыми веществами и присоединяются непосредственно к фракциям почвенного гумуса. При этом наибольшее количество неспецифических продуктов поглощает фракция, преобладающая в гумусе данной почвы. Общее обновление гумуса происходит не путем формирования новых молекул гумусового вещества, а путем постепенного обновления каждой молекулы. При этом периферические фрагменты обновляются в несколько раз быстрее, чем ядерные [Фокин, Карпухин, 1974].

В дальнейшем исследования показали, что процесс гумификации может идти как по пути новообразования гумусовых веществ из продуктов биохимического разложения растительных остатков, так и путем «щадящей трансформации», когда продукты медленной и неполной трансформации компонентов клеточных мембран включаются в молекулы присутствующих в почве гумусовых веществ [Дюшофур, 1998]. Преобладание того или иного пути гумификации определяется почвенно-климатическими условиями, минералогическим и химическим составом почв.

Концептуальная модель гумусообразования разработана Н.Ф. Ганжарой. В этой модели выделяются две стадии гумификации:

– образование гумусового вещества при разложении источников гумуса – стадия детрификации;

1.1. Факторы гумусообразования и закрепления органического вещества в почве

– взаимодействие гумусовые вещества с минеральной частью почвы и образование устойчивых органоминеральных соединений.

Следует различать условия образования гумусовых веществ и условия закрепления образующегося гумуса. Именно условия закрепления образовавшихся гумусовых веществ оказывают решающее влияние на накопление гумуса и его состав. Схема функциональных связей гумусообразования представлена на рисунке 2.

В приведенной схеме функциональных связей отдельным блоком выделяются источники гумуса и детрит. В составе детрита находится весь спектр органических соединений неспецифической природы, которые могут подвергаться гумификации, минерализации или взаимодействию с минеральной частью почвы и последующей трансформации. Конечным продуктом в этом блоке являются новообразованные гумусовые вещества.

Для образования гуминовых кислот из детрита оптимальными являются:

- 1) нейтральная или близкая к нейтральной реакция среды;
- 2) умеренная биологическая активность и длительный ее период;
- 3) насыщенность среды кальцием, магнием и азотом;
- 4) благоприятный биохимический состав источников гумуса.

Для закрепления и накопления гуминовых кислот в почве необходимы:

- 1) наличие свободной от гумуса поверхности минеральной части почв;
- 2) высокие сорбционные свойства;
- 3) насыщенность почвенного поглощающего комплекса кальцием и магнием;
- 4) контрастность режима влажности при непромывном и периодически промывном водном режиме;
- 5) отсутствие пептизаторов.

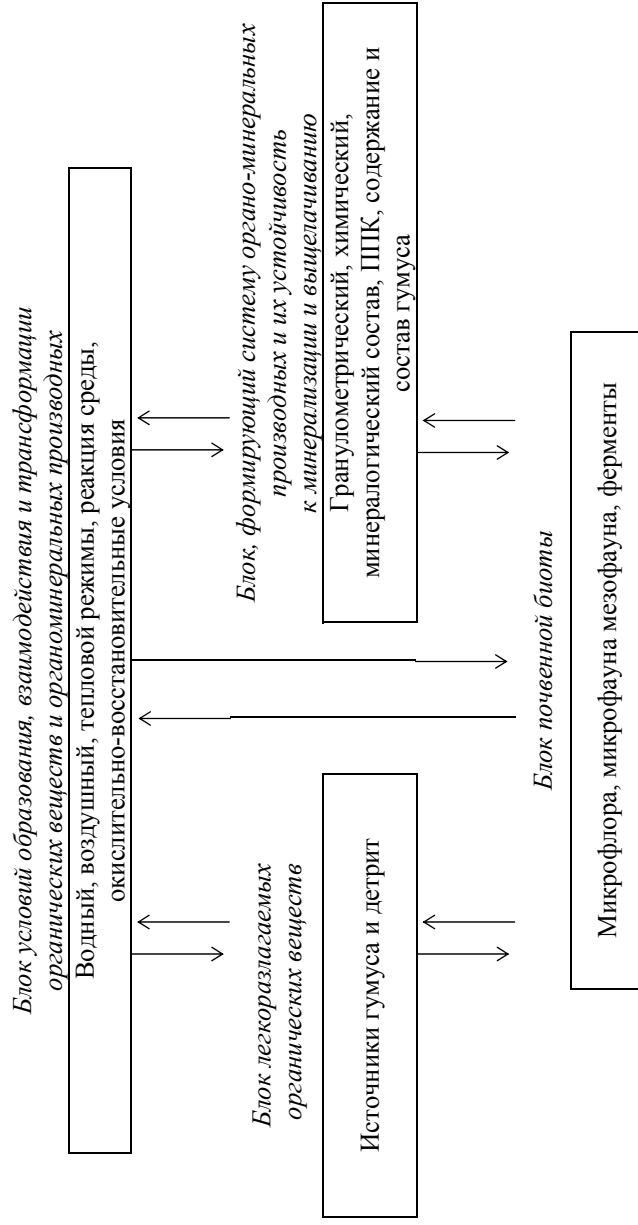


Рис. 2. Схема функциональных связей гумусообразования [Ганжара, 1988]

1.1. Факторы гумусообразования и закрепления органического вещества в почве

Сочетание оптимальных условий для образования и закрепления гуминовых кислот обуславливает накопление не только этой группы гумусовых веществ, но и гумуса в целом. С другой стороны, любое из приведенных условий может стать лимитирующим при существенном отклонении его от оптимальных значений. Фульватный гумус накапливается при наличии условий закрепления фульвокислот в почве, для чего необходимы химически активные соединения железа и/или алюминия в концентрациях, превышающих порог осаждения комплексно-гетерополярных фульватов этих катионов в кислой среде.

Количество источников гумуса в различных экосистемах отличается на два порядка, соответственно с этим потенциальные возможности для гумусообразования также неодинаковы. Где больше источников гумуса, там больше образуется органического вещества при прочих равных условиях. Из химического состава источников гумуса важнейшими показателями являются отношение $C : N$, содержание легкоразлагаемых органических веществ (аминокислот, белков, липидов) и насыщенность основаниями. Высокое содержание легкоразлагаемых органических веществ (в первую очередь водорастворимых и сахаров) увеличивает микробиологическую активность, так как эти соединения являются пищей для микроорганизмов. С уменьшением отношения $C : N$ и C к сумме азота и зольных элементов скорость детрификации, гумификации и минерализации органического вещества возрастает. Богатые белковыми веществами органические остатки разлагаются с высоким выходом гуминовых кислот, в то время как обогащенные лигнинно-целлюлозными компонентами остатки гумифицируются медленнее.

Гранулометрический состав почв оказывает непосредственное влияние на процессы закрепления новообразовавшихся гумусовых веществ в почвенном профиле. Наличие свободной от органического вещества поверхности минеральных почвен-

ных частиц является необходимым условием для фиксации гумусовых веществ в почве. Рост суммарной и удельной поверхности частиц по мере уменьшения их размеров представлена в таблице 1.

Таблица 1

Увеличение внутренней поверхности 1 см³ тела по мере увеличения его дисперсности

Длина стороны куба	1 мм	0,1 мм	0,01 мм	1 мк	0,1 мк	0,01 мк
Суммарная поверхность, м ²	0,006	0,06	0,6	6	60	600
Поверхность на единицу объема	$6 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^6$

Обычно во фракциях среднего и мелкого песка обнаруживаются лишь следы органического вещества, во фракциях крупной пыли содержание гумуса не превышает 1,5 – 2 %, во фракциях мелкой пыли и ила – достигает 10 – 12 % от веса фракции. Гумификация растительных остатков в массе песка сопровождается образованием значительного количества водорастворимых органических веществ, тогда как присутствие пылеватых и илистых частиц приводит к интенсивному поглощению гумусовых веществ на свободной поверхности глинистых частиц. Песчаные почвы бедны коллоидной фракцией и богаты кварцем, поглотительная способность которого весьма низкая, поэтому органическое вещество в песчаных почвах слабо связано с минеральной частью почвы. В условиях непромывного или периодически промывного водного режима в песчаных почвах преобладают процессы минерализации, поэтому существенного накопления органического вещества в почвенном профиле не происходит. В условиях про-

1.1. Факторы гумусообразования и закрепления органического вещества в почве

мывного или застойно-промывного водного режима новообразованные гумусовые вещества активно выносятся в иллювиальные горизонты или мигрируют за пределы почвенного профиля.

При переходе от песчаных и супесчаных почв к суглинистым на целине и пашне содержание гумуса без внесения органических удобрений возрастает (табл. 2).

Таблица 2

Содержание гумуса и запасы органического углерода в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава [Кауричев, Ганжара, Хохлов, 1987]

Почва	C _{орг} , %		C _{орг} в слое 0 – 50 см, т/га	
	Супесчаная	Легко-суглинистая	Супесчаная	Легко-суглинистая
Дерново-слабоподзолистая	0,50	0,97	38,33	45,55
Дерново-среднеподзолистая	0,67	0,87	30,14	46,78
Дерново-сильноподзолистая	–	0,97	38,87	41,85

Некоторые авторы считают, что определить ряд параметров гумусного состояния почв возможно только с учетом их гранулометрического состава. Для пахотных дерново-подзолистых почв нормального увлажнения Северо-Западного региона России предложены следующие градации по содержанию гумуса [Александрова, Юрлова, 1984] (табл. 3).

В Белоруссии приняты следующие оптимальные уровни содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах: в песчаных – 1,8 – 2,0%, в супесчаных – 2,0 – 2,5%, в суглинистых – 2,5 – 3,0% [Кулаковская, 1982]; в Латвии считается удовлетвори-

Глава 1. Почвенно-климатические условия гумусообразования

тельным содержанием гумуса в $A_{\text{пах}}$ в легких почвах – 1,5 – 2,0%; в легкосуглинистых и среднесуглинистых – 2,0 – 3,5%; в тяжелосуглинистых и глинистых – 3 – 4% [Бривкалн, 1976]. В Германии принят несколько иной подход к определению оптимального содержания гумуса [Körschens, 1980; Kundler, Drechsler, Kühn, 1982]: содержание частиц менее 6,4 мкм в процентах умножают на коэффициент 0,04. Полученная величина характеризует содержание инертного гумуса в % от почвы. К этой величине прибавляют 0,5% для сухих почв и 0,7% – для влажных. Это и есть оптимальное содержание гумуса в пахотной почве.

Таблица 3

**Градации по содержанию гумуса
в пахотных дерново-подзолистых почвах
в зависимости от гранулометрического состава**

Содержание гумуса	Содержание гумуса, % в горизонте $A_{\text{пах}}$		
	Песчаная и супесчаная	Легко- и среднесуглинистая	Тяжелосуглинистая
Крайне недостаточное	< 1,0	< 1,5	< 2,5
Недостаточное	1,1 – 2,0	1,6 – 2,5	2,6 – 3,5
Среднее	2,1 – 3,0	2,6 – 3,5	3,6 – 4,5
Повышенное	3,1 – 4,0	3,6 – 5,0	4,6 – 6,0
Высокое	4,1 – 5,0	5,1 – 6,5	6,1 – 8,0
Очень высокое	> 5,0	> 6,5	> 8,0

Косвенное влияние гранулометрического состава на гумусообразование прослеживается через водно-воздушный режим почв. Это влияние отчетливо видно на малогумусных почвах при избыточном увлажнении. В тяжелых почвах максимум биологической активности сосредоточен в верхнем горизонте. Средняя мощность гумусового профиля в дерново-среднеподзолистых

1.1. Факторы гумусообразования и закрепления органического вещества в почве

суглинистых почвах под лесом составляет 13 см, в сильноподзолистых – 9 см [Завалишин, Надеждин, 1961]. Для условий Калининградской области максимальное накопление гумуса обнаруживается в среднесуглинистых почвах, минимальное – в песчаных почвах и почвах, сформировавшихся на иловатых флювиогляциальных глинах [Важенин, Белякова, 1959].

Таким образом, режим увлажнения оказывает существенное влияние на процессы гумификации и гумусонакопления. Этот фактор в зоне избыточного увлажнения по значимости не уступает гранулометрическому составу. Для микроорганизмов, осуществляющих синтез и деструкцию гумусовых веществ, оптимальными гидротермическими условиями являются температура около $+30^{\circ}\text{C}$ и влажность почвы, составляющая 60 – 80% от полной влагоемкости [Кононова, 1963]. Повышение температуры при влажности почвы ниже оптимальной интенсифицирует процессы минерализации. Увеличение влажности почвы при умеренных температурах приводит к росту содержания гумусовых веществ в профиле и увеличению мощности гумусированной части профиля. На состав образовавшегося в полугидроморфных и гидроморфных условиях гумусового вещества оказывают влияние характер почвообразующих пород, причины и степень проявления почвенного гидроморфизма, антропогенное воздействие [Зайдельман, 1998].

Считается, что умеренное дополнительное увлажнение и сдвиг окислительно-восстановительного потенциала до границ не ниже 300 – 400 мВ прямо или косвенно способствует улучшению гумусного состояния почв, накоплению органического вещества и изменению его состава в сторону гуматности [Кауричев, Орлов, 1982]. При затоплении почв и глубоком анаэробном биолизе возможна деструкция гуминовых кислот, абсолютное накопление фульвокислот, и как следствие сужение отношения $C_{\text{гк}} : C_{\text{фк}}$. Однако, по некоторым данным, нарастание переувлажнения дерново-подзолистых почв сопровождается увеличением содержания общего гумуса и гуминовых кислот [Матинян, 1968; Коршун, 1969]. Исследование более 200 об-

разцов почв в Белоруссии разного генезиса и увлажнения показало, что нарастающее переувлажнение способствует увеличению общего количества органического углерода. На содержание же гуминовых кислот и отношение $C_{гк} : C_{фк}$ переувлажнение влияет неоднозначно (табл. 4).

За эталон автоморфных почв могут быть взяты бурые лесные и дерново-палево-подзолистые, в которых за теплый период не наблюдается переувлажнения, то есть их влажность в течение апреля – октября не превышает предельной полевой влагоемкости. Небольшой период переувлажнения (10 – 20 дней) вызывает снижение отношения $C : N$ и рост доли гуминовых кислот. Это указывает на увеличение глубины гумификации под действием эпизодической активизации анаэробной микрофлоры. Дальнейший рост периода переувлажнения (20 – 40 дней в дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных почвах; 50 – 80 дней в дерново-подзолистых глееватых) резко увеличивает содержание общего органического вещества и одновременно расширяет отношения $C : N$. Содержание гуминовых кислот возрастает, но количество фульвокислот также увеличивается, причем в сильно переувлажненных дерново-подзолистых глеевых почвах фульвокислоты преобладают над гуминовыми кислотами. Следовательно, при длительных циклах анаэробнозиса формируется почвенное органическое вещество, качественно отличное от гумуса автоморфных почв.

Западноевропейские ученые [Kubiiena, 1953; Дюшофур, 1998] выделяют три морфологических типа почвенного органического вещества, формирующегося в автоморфных условиях – мор, модер и мюллер, – и два типа почвенной органики гидроморфного происхождения – анмоор (от нем. *an* – на и *Moor* – болото) и торф. Выделяются и переходные – полугидроморфные – формы органического вещества: гидромор, гидромодер, гидромюллер. В дерново-подзолистых и близких к ним по генезису и режимам почвах нарастание переувлажнения приводит к абсолютному росту содержания наиболее агрессивных фракций гумусового вещества [Зайдельман, Дани-

1.1. Факторы гумусообразования и закрепления органического вещества в почве

лова, 1989]. В тяжелых почвах с усилением гидроморфизма происходит закономерное расширение отношения $C : N$, тогда как в легких (песчаных и супесчаных) отмечается обратная закономерность. Это связано с относительно свободной миграцией растворимого органического вещества в иллювиально-гумусовые горизонты.

Следует отметить взаимосвязь окислительно-восстановительных и кислотно-основных условий формирования почвенного гумуса. Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) большинства органических систем является функцией от рН. Кроме того, если в кислой и слабокислой среде фенольные фрагменты гумусового вещества существуют в Н-форме, то в слабощелочной среде начинается ионизация фенолгидроксильных групп. Соответственно изменяются и механизмы окисления и восстановления органического вещества. Модельные эксперименты показывают, что увеличение содержания гуминовых кислот в Н-форме существенно снижает глубину падения окислительно-восстановительного потенциала (Еh) почвы при затоплении. Воздействие гуматов кальция, алюминия, железа и марганца препятствуют падению Еh в меньшей степени. Добавка гумата натрия, напротив, усиливает анаэробизис, вызывает более глубокое падение ОВП, чем на контроле [Тарарина, 1992].

Следует отметить, что гумат натрия как соль сильного основания и слабой многоосновной кислоты подвергается в растворе гидролизу, следствием которого является подщелачивание среды. Щелочная среда при прочих равных условиях вызывает снижение ОВП. Гуматы кальция, хотя и в меньшей степени, чем гуматы натрия и калия, также подвергаются частичному гидролизу. В случае присутствия в почве кислорода и наличия подщелачивающих агентов возможно глубокое окисление органических веществ [Кауричев, Орлов, 1982]. Мелиорация кислых дерново-подзолистых почв при неравномерном внесении извести в пахотный горизонт может сопровождаться созданием микрозон с повышенным значением рН, что благоприятствует разрушению гумуса [Григорьева, 1995].

Таблица 4

Гумусовое состояние почв Белоруссии [Романова, 1999]

Показатель	Почва							
	Дерново-палево-подзолистая		Дерново-подзолистая заболоченная			Дерново-подзолистые с иллювиально-гумусовым горизонтом		
	Авто-морфная	Оглевенная внизу	Временно избыточно увлажненная	Глееватая	Глееватая	Временно избыточно увлажненная	Глееватая	Глеевая
Бурая лесная								
Общий гумус, %	11 (1,5)	10,3 (1,7)	13,4 (2,2)	16,6 (3,0)	27,1 (3,3)	13	23	25
C : N	11	8	11	15	18	32	24	18
C _{гк} от C _{общ} , %	31	34	31	37	32	40	36	42
C _{гк} : C _{фк}	1,0	1,4	1,0	1,2	0,9	1,7	2,1	3,0

Примечание.

В скобках – содержание общего гумуса в пахотных почвах.

1.1. Факторы гумусообразования и закрепления органического вещества в почве

Контрастный режим увлажнения рассматривается как фактор, способствующий накоплению и закреплению гумусового вещества в почвенном профиле, что впервые было описано И.В. Тюриным (1965). Весной при ограниченном промачивании гумусового горизонта происходят процессы гумификации отмерших корневых остатков. Летом, в период относительной сухости, образовавшаяся ульминовая кислота переходит и закрепляется в аккумулятивном горизонте в форме гумата кальция. Исследования гумусного состояния и процессов гумусообразования в зональных почвах континентальной фации Восточно-Европейской равнины показывают, что наиболее контрастный режим влажности наблюдается в гумусово-аккумулятивных горизонтах черноземов. Вместе с тем отмечается [Ганжара, 1997], что фактор контрастности увлажнения пока не имеет прямого измеряемого числового значения и может быть лишь косвенно охарактеризован гидротермическим коэффициентом или величиной гидрофактора по В.Р. Волобуеву.

1.2. Рельеф

Калининградская область расположена на крайнем западе Восточно-Европейской (Русской) равнины. Площадь области – 15,1 тыс. км², из которых 1,9 тыс. км² заняты Куршским и Калининградским заливами и внутренними водоемами. Протяженность области с запада на восток составляет 205 км, с севера на юг – 108 км.

Кристаллические породы докембрийского фундамента залегают на значительных глубинах – от 800 – 900 м в восточной части области до более 2000 м в районе Калининграда. Общий уклон территории с востока на запад, хотя и сильно сглаженный последующими отложениями осадочных пород, сохранился до настоящего времени. Современный рельеф сформировался в четвертичное время. Территория Калининградской области как минимум три раза за последний миллион лет покрывалась ледником, причем в каждую ледниковую эпоху происходило несколько наступлений ледника. В

последледниковое время на формирование рельефа дельты р. Неман, Полесской низменности, Куршской и Вислинской кос, а также пониженных прибрежных территорий существенное влияние оказали трансгрессии и регрессии Балтийского моря.

На территории области выделяется ряд геоморфологических районов, различающихся рельефом и геологическим строением.

Первый район – это крупнейшая возвышенность Калининградской области – Виштынецкая и Вармийская – являются частью Балтийской гряды – конечной морены Валдайского (Вюрмского) ледника. В пределах области находятся лишь северные склоны Балтийской гряды, основная – наиболее высокая – часть гряды расположена южнее и юго-восточнее. На территории Виштынецкой возвышенности находятся максимальные абсолютные отметки – г. Безымянная (242 м над уровнем моря), г. Дозор (231 м) и др. Мощность четвертичных отложений здесь превышает 200 м, местами доходя до 250 м. Рельеф Виштынецкой возвышенности имеет ярко выраженный ледниковый характер. Наступление Вюрмского ледника шло с северо-запада, отступление – на северо-запад. Этими процессами были сформированы три гипсометрические ступени, различающиеся абсолютными высотами и особенностями рельефа: первая – юго-восточная часть с высотами более 200 м и северная часть с высотами до 150 м. Юго-восточная наиболее высокая часть Виштынецкой возвышенности, расположенная от западного берега Виштынецкого озера до поселка Радужное, слагается грядой холмов, расчлененных глубоко врезанными, часто заболоченными ложбинами и котлованами. Вторая ступень, обрамляющая первую с севера и северо-запада, слагается чередой массивов, гряд и холмов, разделенных межхолмными впадинами и долинами верховьев рек. Понижения между холмами заняты озерами или заболочены. Долины рек – узкие, глубоко врезанные, имеют крутые склоны с обнажениями моренных отложений. Третья – северная – ступень

Виштынецкой возвышенности представлена холмисто-моренной равниной, расчлененной многочисленными речными долинами. Северная граница Виштынецкой возвышенности проходит по линии пос. Пушкино – пос. Крылово.

Вармийская возвышенность находится на юго-западе Калининградской области, ее северная граница проходит по линии пос. Пятидорожное – пос. Домново – долина р. Лавы к югу от Правдинска. Мощность четвертичных отложений здесь меньше, чем на Виштынецкой возвышенности. Западная часть Вармийской возвышенности существовала до наступления последнего оледенения, поэтому строгой пространственной ориентации элементов рельефа не наблюдается. Характерные формы рельефа – моренные холмы и гряды с абсолютными высотами 100 – 140 м, чередующиеся с полузамкнутыми и замкнутыми плоскими понижениями. Местность хорошо дренируется довольно многочисленными малыми реками, текущими в северном и северо-западном направлении, поэтому болот здесь меньше, чем на Виштынецкой возвышенности, а озера очень редки.

Самбийская возвышенность занимает большую часть Земланского полуострова. Здесь находятся конечно-моренные гряды, сформировавшиеся в период похолодания при таянии последнего ледника. Как и западная часть Вармийской возвышенности, Самбийская возвышенность существовала еще в дочетвертичное время. Мощность валдайских отложений составляет менее 50 м, в некоторых местах у пос. Мельниково, Каштановка, Муромское дочетвертичные отложения находятся на глубине менее 10 м от дневной поверхности. Современный рельеф сформировался после окончательного разрушения ледяного щита. В западной части полуострова гряды холмов имеют как субширотную, так и субмеридиональную ориентировку, их абсолютные высоты находятся в пределах 60 м, лишь г. Большая имеет высоту 90 м. В центральной части полуострова располагаются Большие горы с мак-

симальной высотой 110 м (г. Альк), они служат водоразделом рек, впадающих в Куршский и Калининградский заливы, а также непосредственно в Балтийское море. В восточной части полуострова находятся разделенные широкими междолинными понижениями невысокие холмы, ориентированные с северо-запада на юго-восток. Их цепь уходит за пределы Земландского полуострова в направлении Гурьевск – пос. Высокое – пос. Талпаки и у Черняховска соединяется с Инстручной конечно-моренной грядой.

Виштынецкая, Вармийская и Самбийская возвышенности относятся к конечно-моренному геоморфологическому району. Основные особенности рельефа – наличие моренных холмов, сгруппированных в гряды. Пространственная ориентация холмов определяется дочетвертичными формами рельефа. Холмы разделяются межхолмными понижениями, часто полузамкнутыми. Местность довольно сильно расчленена, глубины местных базисов эрозии достигают 50 м. Конечно-моренный геоморфологический район характеризуется большим разнообразием локальных условий почвообразования и высокой контрастностью почвенного покрова.

Второй геоморфологический район – основно-моренный – занимает самую большую площадь. В него входят Шешупе-Инстручская равнина, Инстручская конечно-моренная гряда и Полесская равнина. Полесская моренная равнина на севере омывается водами Куршского залива, на западе она граничит с восточными отрогами Самбийской возвышенности, на юге – с долиной р. Преголи, на востоке – с Инстручской конечно-моренной грядой. Равнина сформировалась после отступления ледника под действием медленно текущих вод. В южной части равнины находятся невысокие холмы с покатыми склонами, разделенные обширными понижениями. Максимальные высоты достигают 25 – 30 м. В центральной части холмы становятся ниже, постепенно переходят в плоскую равнину, слабо наклоненную к северу. Эта часть неоднократно затапливалась

водами формировавшихся Балтийского моря и Куршского залива в среднем голоцене. Ближе к заливу абсолютные высоты не превосходят 10 м, встречаются участки, лежащие ниже уровня моря. Восточная часть Полесской равнины постепенно переходит в Инстручскую конечно-моренную грядку.

Инстручская моренная гряда, протянувшаяся от Черняховска до древней дельты р. Неман, разделяет основно-моренный район на низменную Полесскую равнину и более возвышенную Шешупскую (Шешупе-Инстручскую) равнину. Инстручская гряда представляет субмеридионально направленную цепь холмов, разделенную на несколько блоков относительно глубокими оврагами и балками. Высота холмов составляет 45 – 50 м над уровнем моря, максимальная отметка – 59 м. Восточные склоны гряды круто обрываются в долине р. Инструч, западные – постепенно переходят в Полесскую равнину. В целом рельеф Инстручской гряды существенно сглажен талыми ледниковыми водами.

Шешупе-Инстручская моренная абрадируемая равнина рассечена невысокой Добровольской грядой, являющейся водоразделом р. Шешупе и Инструч. Встречаются ледниковые формы рельефа – озы, камы, разделенные плоскими полузамкнутыми понижениями. В центральной части равнины на водоразделе р. Ульяновка и Писса находится моренный массив с абсолютными высотами 60 – 70 м. Максимальная высота у поселка Фурманово достигает 100 м. К югу моренная гряда переходит в низменность нижнего течения р. Писса. Низменность сложена флювиогляциальными глинами, обладающими низкой водопроницаемостью, из-за чего она сильно заболочена.

Остальная часть Шешупе-Инстручской моренной равнины, за исключением междуречья Шешупе и Немана, представляет собой слабовсхолмленную равнину с абсолютными высотами 30 – 40 м. Широкие межхолмные понижения, переходящие в плоские равнины, лишь на 3 – 4 м ниже вершин абрадируемых холмов. В целом рельеф Шешупе-Инстручской моренной

равнины в значительной степени переработан отступающим ледником и послеледниковыми водными потоками.

Между Балтийской конечно-моренной грядой с юга и долиной р. Преголи с севера находится третий геоморфологический район – Прегольская озерно-ледниковая равнина, формирование которой произошло в конце плейстоцена после отступления ледника от Балтийской гряды к Самбийской возвышенности и Инстрочской гряде. На месте Прегольской равнины располагался приледниковый водоем, уровень воды в котором испытывал значительные колебания. При низком стоянии вод существовало несколько водоемов, наиболее крупный находился на севере Багратионовского и Правдинского и юге Гвардейского районов. При высоком стоянии вод эти бассейны соединялись с ледниковыми озерами на территории Шешупе-Инстрочской равнины и с озерно-ледниковым водоемом на территории Семпопольской низменности в среднем течении р. Лавы. Приледниковый водоем существовал несколько столетий, затем был спущен в Иольдиевое море. Результатом стало формирование слабовсхолмленной, местами практически плоской равнины, имеющей весьма незначительный уклон к западу и северо-западу. Абсолютные высоты изменяются от 40 – 50 м на востоке до нескольких метров на северо-западе. Восточная часть равнины плавно переходит во внешнюю ступень Виштынецкой возвышенности. Западная часть равнины в нижнем и среднем течении р. Прохладной заливалась водой во время трансгрессии Литоринового моря в среднем голоцене. Здесь на фоне обширной плоской сильно заболоченной равнины возвышаются редкие покатые холмы. Сходный рельеф имеет и центральная часть равнины. Реки врезаны относительно неглубоко и недостаточно дренируют местность. Вдоль речных долин располагаются отдельные невысокие холмы или цепи холмов.

Наряду с Прегольской озерно-ледниковой равниной на территории области имеются участки, сходные по рельефу и происхождению. К ним относится Гусевская древнеозерная впа-

дина и Северо-Западная озерно-ледниковая равнина к югу от Советска. Эти равнины, за исключением последней, объединяются в южный подпруженный геоморфологический район. Характерной особенностью рельефа здесь является глубокая переработка исходных ледниковых форм рельефа водами послеледниковых озер и медленных потоков.

Четвертый геоморфологический район – древнеаллювиальный – занимает Неманскую низменность, а также террасы р. Преголи, Деймы и Инструч. Неманская (Куршская) низменность имеет форму треугольника, южная вершина которого находится у Полесска, восточная – у Советска, северная – на территории Литвы. Низменность является слегка наклоненной к западу плоской равниной, сформировавшейся в месте впадения в Литориновое море нескольких рек, главной из которых является Неман.

Ледниковые породы здесь перекрыты древнеаллювиальными песчаными наносами, выстилающими всю территорию низменности. При замедлении течения рек, связанном с повышением уровня моря, пониженные участки были перекрыты слоем суглинисто-глинистого аллювиального материала, поступление которого продолжалось вплоть до позапрошлого века, когда сток рек был зарегулирован, а низменность защищена дамбами. В восточной и юго-восточной – наиболее приподнятой – части низменности древнеаллювиальные пески выступают на дневную поверхность в виде отдельных бугров, а также цепей холмов.

Центральная часть низменности отличается совершенно плоским рельефом. Выходы древнеаллювиальных песков редки, большая часть территории покрыта слоем торфа толщиной 2 – 4 м. Местами торф перекрыт маломощным (до полуметра) слоем суглинистого аллювия. Абсолютные высоты не превосходят 4 – 5 м. Западная и юго-западная части низменности, прилегающие к побережью Куршского залива, полностью заторфованы. Некоторые участки лежат ниже уровня моря. Это так называемые польдерные земли. Они

ограждены дамбами и осушаются густой сетью мелиоративных каналов. На юго-западе территории имеются слабовыпуклые верховые болота.

Древнеаллювиальные формы рельефа представлены также на северо-востоке области в междуречье Немана и Шешупе, где находилась древняя дельта р. Неман. Для территории характерны косослоистые песчаные отложения. После смещения дельты Немана на запад территория подвергалась выраженным эоловым процессам. Возникли песчаные гряды и невысокие дюны, которые в настоящее время закреплены лесной растительностью.

Поймы крупных рек с надпойменными террасами являются относительно молодыми формами рельефа: р. Преголя и Инструч имеют две надпойменные террасы, рельеф нижнего течения р. Неман более сложный. Собственно древнеаллювиальные отложения характерны для надпойменных террас, на самих поймах они перекрыты современным аллювием.

Наибольшая контрастность рельефа характерна для конечно-моренных образований. Для других районов типичен более спокойный рельеф, однако даже слабовыраженные элементы рельефа приводят к существенному перераспределению тепла и потоков влаги.

1.3. Почвообразующие породы

На территории Калининградской области распространены почвообразующие породы пяти генетических групп. По площади распространения они представляют следующий убывающий ряд: ледниковые отложения (морена вюрмского ледника), флювиогляциальные (водно-ледниковые) отложения, древнеаллювиальные отложения, торф, современные аллювиальные наносы. Ледниковые отложения представлены валунными глинами, суглинками и супесями. Характерная черта ледниковых отложений – большое количество несортированного материала. Моренные отложения являются преобладаю-

щими породами в четвертом, конечно-моренном геоморфологическом районе, однако они также встречаются в качестве почвообразующих пород и на плоских абрадированных равнинах [Завалишин, Надеждин, 1961].

Тяжелые моренные породы распространены преимущественно на вершинах и склонах моренных гряд, а также на абрадированных равнинах. Валунные средние суглинки распространены на Виштынецкой возвышенности, несколько меньшую долю почвообразующих пород они составляют на Земландском полуострове и Вармийской возвышенности. Легкие породы в основном приурочены к западной части области, но локально распространены среди средних и тяжелых суглинков на всей территории.

Исследования минералогического состава ледниковых отложений показывают, что их основой являются не принесенные продукты разрушения и выветривания фенно-скандинавских пород, а преимущественно местные осадочные породы. Согласно данным И.Г. Важенина и В.И. Беяковой (1959), минералогический состав ледниковых отложений представлен на 45 – 70% кварцем, 6 – 9% калиевыми полевыми шпатами, 0,2 – 1,6% бесцветными слюдами, 13 – 33% гидрослюдами, 0,1 – 0,7% – глауконитами и 12 – 13% кальцитами. Кроме того, в незначительных количествах присутствуют роговая обманка, эпидот, циркон, гранат, рутил, сфен и дистен.

Гранулометрический состав оказывает определенное влияние на химический состав пород, в том числе и на содержание элементов питания: количество K_2O снижается пропорционально росту доли физического песка, максимальное содержание P_2O_5 отмечается в тяжелых и легких суглинках, в средних суглинках наблюдается его минимум. Супеси занимают промежуточное положение. Подобное отношение, по-видимому, связано с различным механизмом накопления окиси фосфора в породах. В тяжелых породах биологическая активность, а следовательно, и потребление окиси фосфора сосредоточены почти исключи-

тельно в верхних горизонтах почвы; не включившаяся в биологический круговорот окись фосфора необменно закрепляется в верхних слоях почвообразующей породы. В среднесуглинистых почвах интенсивность биологических процессов в целом выше, поэтому значительная масса окиси фосфора включается в состав живых организмов и гумусовых веществ. Содержание СаО колеблется в весьма широких пределах, хотя среди легких пород чаще встречаются глубоко выщелоченные моренные отложения. В целом ледниковые отложения содержат значительные запасы элементов питания. Моренные отложения Земландского полуострова отличаются относительно высоким содержанием фосфора и меньшим – калия и кальция, для ледниковых пород восточных районов характерно обратное соотношение. Решающую роль здесь играют климатические различия. В более континентальных восточных районах интенсивность выщелачивания катионогенных элементов ниже, чем в приморских. Различия усиливаются при хорошей водопроницаемости пород.

Значительную часть территории области занимают ледниковые породы с характерным двучленным профилем. Верхняя толща породы обычно представляет собой относительно рыхлую массу облегченного гранулометрического состава небольшой мощности. Профиль формирующихся на таких наносах почв обычно не помещается в верхнем слое породы, а захватывает и нижележащий более плотный слой. Происхождения двучленности связывают с перемыванием морены тальми ледниковыми водами, а также с процессами выветривания морены, однако последняя гипотеза часто встречает возражения. Относительно короткое время существования современных почвообразующих пород (11 – 12 тысяч лет и меньше) не позволило сформироваться элювию значительной мощности [Завалишин, Надеждин, 1961].

Водно-ледниковые отложения по площади занимают второе место. Обширная территория к югу от Преголи – южный

подпруженный район, а также часть центральных и восточных районов области заняты безвалунными глинами и тяжелыми суглинками. В Черняховском и Озерском районах безвалунные глины местами выходят на дневную поверхность и являются почвообразующими породами, в других местах они перекрыты слоем неоднородных по гранулометрическому составу более легких суглинистых наносов. На большей части Краснознаменского района глины залегают под слоем пылеватой супеси мощностью около 60 см. Мощность самих безвалунных глин обычно невелика – 1,5 – 2 м, а часто уменьшается до 75 см и менее. Глины в этом случае являются кроющим наносом для моренного суглинка.

Сравнение водно-ледниковых глин Калининградской области с аналогичными по гранулометрическому составу и происхождению породами других областей Северо-Западного региона показывает, что глины Калининградской области отличаются большим содержанием коллоидов. Сравнение же минералогического состава водно-ледниковых глин с моренными суглинками выявило обеднение первых кварцем и калиевыми полевыми шпатами и относительное накопление гидрослюд. Валовый химический анализ безвалунных глин указывает на относительное обогащение их окисью железа и обеднение окисью натрия. В целом водно-ледниковые глины можно рассматривать как переотложенную холодными олиготрофными водами илистую фракцию моренных суглинков.

Кроющие суглинки по минералогическому и химическому составу ближе к верхнему слою моренных отложений, чем к подстилающей породе. В целом тяжелые флювиогляциальные породы Калининградской области характеризуются наличием карбонатов кальция. Карбонаты находятся как в виде почти равномерной пропитки, так и в форме плотных конкреций-журавчиков. Глубина появления карбонатов обычно составляет менее метра, причем если глины имеют кроющий нанос, то карбонаты могут встречаться уже в нижней части такого на-

носа. Предполагается, что глубина залегания карбонатов определяется главным образом не водно-физическими свойствами породы, а глубиной проникновения корневой системы лесной растительности.

Относительная обеспеченность водно-ледниковых глин элементами питания сочетается с рядом неблагоприятных физико-химических свойств. Водопроницаемость глин очень низкая, влажность уже на глубине более 70 см мало изменяется и колеблется около полной влагоемкости. Глины отличаются высокой липкостью и способны к уплотнению при увлажнении и последующем высушивании. Химические свойства водно-ледниковых глин определяются стойкостью слагающих их минералов к выветриванию и высокой емкостью поглощения.

Кроме тяжелых безвалунных пород к флювиогляциальным отложениям относятся также крупнозернистые сортированные пески и супеси. В отличие от Центрального Нечерноземья и Полесья в Калининградской области нет обширных зандровых равнин. Легкие водно-ледниковые отложения распространены локально, причем часто они являются верхним кроющим наносом для тяжелых пород. Известны также случаи залегания супесей и песков прослойками в безвалунных суглинках или глинах. Таким образом, почвы, образующиеся на водно-ледниковых отложениях, часто имеют двух-, а то и трехчленный профиль.

Водно-ледниковые пески и супеси относительно обеднены фосфором и калием и обогащены кварцем, однако они более обеспечены элементами питания по сравнению с древнеаллювиальными песками. Флювиогляциальные пески и супеси отлагались из холодных вод тающего ледникового щита при очень низкой биологической активности. После сброса приледниковых водоемов в Иольдиевое море легкие флювиогляциальные отложения перешли в автоморфный режим, тогда как древнеаллювиальные отложения перемывались относительно длительное время.

Древнеаллювиальные отложения представлены преимущественно сортированными песками. Распространены в современных надпойменных террасах Преголи и Инструча, а также на Куршской низменности. Локально встречаются и в других частях области. Мощность древнеаллювиальных отложений колеблется от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. На плоских равнинах пески обычно подстилаются моренными или флювиогляциальными суглинками. На территории Куршской низменности на поверхности древнеаллювиальных песков часто находится торф.

Химический состав древнеаллювиальных песков характеризуется резким преобладанием кварца (90 – 95%). Содержание основных элементов питания в процентах на абсолютно сухую навеску составляет: P_2O_5 – 0,028 – 0,045; CaO – 0,15 – 0,45; K_2O – 0,6 – 1,7. Таким образом, древнеаллювиальные пески в отличие от моренных отложений и водноледниковых глин обладают низким содержанием фосфора, кальция и калия.

Значительная часть территории Куршской низменности, а также часть долин Преголи, Инструча и Деймы занята почвами, сформированными на торфе. На территории области встречаются все виды торфов – верховые, переходные и низинные. Верховые – характеризуются высокой актуальной и обменной кислотностью, низкой зольностью и бедностью элементами питания. Сельскохозяйственное освоение таких торфяников нецелесообразно. Низинные торфяники, расположенные вблизи побережья Куршского залива и в долинах рек, обладают повышенной зольностью с неравномерным распределением ее по профилю. Последнее объясняется молодостью территории, неоднократным затоплением ее в ходе трансгрессий Балтийского моря уже в послеледниковое время. Запасы элементов питания в низинных торфах выше, чем в торфах Белоруссии и Средне-Русской равнины, что наряду с близкой к нейтральной реакцией позволяет отнести сформировавшиеся

на низинных торфах почвы к обладающим высоким потенциальным плодородием.

В долинах крупных рек, а также у побережья Куршского залива местами в качестве почвообразующих пород выступают современные аллювиальные отложения. Гранулометрический состав аллювиальных отложений изменяется от сортированных мелких песков до тяжелых суглинков и глин, причем часто встречаются двух- и даже трехчленные аллювиальные наносы. Характерными признаками аллювиальных отложений является преобладание пылеватых частиц над иловатыми, отсутствие карбонатов, низкое содержание крупнопесчаной фракции (0,5 – 1 мм), а также быстрое и резкое изменение гранулометрического состава по профилю. Химический состав аллювиальных отложений в значительной мере обусловлен составом почв водораздельных территорий.

Достаточно часто под толщей аллювиальных наносов залегают погребенные торфяные или перегнойно-подзолистые почвы. Большая часть современных аллювиальных почв сформировалась в XV – XIX вв. Массовая вырубка лесов и распашка больших площадей в эпоху позднего Средневековья привела к увеличению интенсивности половодий и паводков, а также к ускорению эрозионных процессов. Это вызывало интенсивное отложение аллювия и погребение им ранее сформировавшихся болотных и лесных почв. В XIX в. сток большинства рек региона, в том числе и всех крупных, был зарегулирован, что вызвало резкое снижение интенсивности, а в ряде случаев и прекращение поступления свежего аллювия.

Различные по гранулометрическому и химическому составу почвообразующие породы являются причиной высокой контрастности почвенного покрова. На территории Калининградской области почвообразование протекает наиболее интенсивно на моренных суглинках и более легких по гранулометрическому составу отложениях. На флю-

виогляциальных безвалунных глинах почвообразование затруднено вследствие неблагоприятных физико-химических свойств породы.

Если почва формируется на двучленных отложениях с маломощным кроющим наносом, то подстилающая порода служит водоупором. В таких почвах складывается неблагоприятный водный режим.

На территории области широко распространены карбонатные породы. Выделяют осколки плотных известняков и куски мергеля, захваченные ледником и вошедшие в состав моренных отложений. Встречаются также плотные конкреции и журавчики, вероятно сформировавшиеся в процессе почвообразования. Такие конкреции встречаются не только в ледниковых отложениях, но и в переотложенных после таяния ледника флювиогляциальных породах. Глубина залегания карбонатов определяется процессами выщелачивания, а также мощностью корнеобитаемого слоя господствовавшей на протяжении длительного времени лесной растительности. Древнеаллювиальные, торфяные и современные аллювиальные отложения не содержат карбонатов.

1.4. Климат

Положение Калининградской области на западной окраине самого большого материка – Евразии – в зоне умеренных широт $54^{\circ}19'$ – $55^{\circ}19'$ с. ш. и относительная близость к Атлантическому океану определяют характер климата региона. По классификации В. Кеппена регион находится на границе раздела между зоной умеренно-теплого климата без регулярного снежного покрова и зоной борельного климата с резко выраженной зимой и летом. Б.П. Алисов относит климат Калининградской области к атлантико-континентальной области зоны умеренных широт в Южно-Балтийской подобласти, циркуляционные условия которой приближаются к условиям Западной Европы [Тупикин, 2001].

Среднегодовая температура воздуха изменяется от + 7,5 на западе до + 6,5 °С на востоке. Годовая амплитуда колебаний температуры воздуха заметно увеличивается с запада на восток. Это вызывается господствующими циркуляционными процессами, под влиянием которых изотермы зимних месяцев приобретают субмеридиональное направление.

Средние температуры зимних месяцев (январь – февраль) составляют от –2 до –4,4 °С. Иногда наблюдаются кратковременные понижения температуры до –30 – 32 °С. В летние месяцы средние температуры составляют +16 – 18 °С. В отдельные годы возможны повышения температуры воздуха до +34 °С.

Сумма температур выше +10 °С на плоских поверхностях колеблется от 2200 до 2500 °С. Наиболее обеспечены теплом южные и юго-западные районы области. Мезорельеф оказывает существенное влияние на тепло- и влагообеспеченность почв. На вершинах холмов и южных склонах сумма температур безморозного периода оказывается на 25 – 175 °С больше, чем на ровной поверхности [Виноградова, 2001]. У подножий холмов и в западинах суммы температур на 50 – 200 °С ниже, чем на ровной поверхности. На южных склонах агрономическая спелость почвы наступает на 7 – 10 дней раньше, чем на северных.

Продолжительность безморозного периода составляет 160 – 180 дней. На востоке области заморозки наступают раньше, а прекращаются позже, чем на западе. В отдельные годы в центральных и восточных районах заморозки могут наблюдаться с 16 – 26 сентября и до 5 июня.

Зима в Калининградской области существенно отличается от зимы в Центральном и Северо-Западном регионах России. Период с устойчивыми отрицательными температурами почти вдвое короче, чем в центральном Нечерноземье. Устойчивый снежный покров образуется в среднем один раз в два года в западных районах области и два раза в три года – в восточных.

В наиболее теплые зимы среднемесячные температуры января и февраля не опускаются ниже 0 °С.

Оттепели характерны для всех зимних месяцев. Осадки зимой выпадают в виде снега и дождя. Дожди составляют более половины от общего количества осадков; в январе – около 40% [Федоров и др., 1981]. Неоднократные переходы температуры воздуха через 0 °С являются причиной кратковременного и неглубокого промерзания почв. Среднемесячная температура почв центральной части области (г. Гвардейск) в феврале на глубине 20 см составляет –0,5 °С, на глубине 40 см –0,0 °С, на большой глубине зимние температуры остаются положительными [Барина, 1999]. В теплые зимы почвы остаются в талом состоянии. В экстремально холодные зимы в некоторых районах почвы промерзают на глубину более 100 см.

Для оценки обеспеченности растений влагой во время вегетации используется гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), который определяется по отношению суммы осадков за период с температурой выше +10 °С к сумме положительных температур за этот же период, уменьшенной в 10 раз [Агроклиматические ресурсы..., 1972]. Если ГТК более 1,5 – избыточное увлажнение; от 1 до 1,5 – достаточное увлажнение; от 0,5 до 1 – недостаточное увлажнение. Для Калининградской области значения ГТК изменяется от 1,3 до 1,7, причем в прибрежных районах ГТК меньше, чем в восточных. В целом для территории области характерно достаточное и избыточное увлажнение.

В последние 10 тыс. лет климат региона претерпел существенные изменения. Еще 11 – 13 тыс. лет назад на территории области господствовали тундра и редколесье. При потеплении и увеличении сухости около 9 тыс. лет назад преобладающей породой была сосна, затем с ростом влажности территория была занята дубово-широколиственными лесами, а 3 – 5 тыс. лет назад стали преобладать сосновые леса [Дроздов и др., 1989]. В Средние века и в так называемый малый ледниковый период Балтийское море на зиму покрывалось льдом. Совре-

менные данные по климату региона основаны на наблюдениях 1900 – 60-х гг. XX в.

В последние десятилетия деятельность человека вызывает изменения климата в глобальном масштабе. Сжигание ископаемого органического топлива, вырубка лесов, выбросы в атмосферу метана, фреона и других «малых парниковых газов» являются причиной постепенного повышения температуры атмосферы и поверхности Земли. По различным оценкам [Будыко, 1984; Дроздов и др., 1989], среднегодовая температура Северного полушария в 2000 г. была на 0,2 – 0,9 °С выше, чем в 1975, а к 2050 г. потепление составит 1,2 – 3,9 °С. Расчеты показывают, что рост среднегодовой температуры в Северном полушарии на 1 °С приведет к потеплению на широте Калининграда на 1,5 °С. Таким образом, в ближайшем будущем нас ждет существенное потепление климата. Этот процесс вызовет усиление микробиологической активности, т. е. увеличит скорость гумификации и минерализации почвенного органического вещества.

Таким образом, основными особенностями климата Калининградского региона являются: плавный годовой ход температур, продолжительный вегетационный период, мягкая и короткая зима, достаточное и избыточное увлажнение в течение большей части года. Значительные отклонения климатических параметров в отдельные годы от средних многолетних значений затрудняют использование последних в практике сельскохозяйственного производства.

1.5. Растительность

Калининградская область расположена в лесной зоне. По ее территории проходит граница между подзонами широколиственных и смешанных лесов. Граница имеет субмеридиональное направление. Естественная растительность западной части области близка к лесной растительности Центральной Европы, восточной части – к смешанным лесам Прибалтики и Белорус-

сии. В современной флоре широко представлены как таежные, так и неморальные элементы.

На характер растительности, кроме климатических факторов, определяющее воздействие в прошлом оказывала деятельность человека. В связи с сельскохозяйственным освоением большинство лесов, главным образом смешанных и широколиственных, вырубалось, а освободившиеся площади распахивались. С развитием животноводства на месте бывших лесов создавались луга, используемые под пастбища и сенокосы. К настоящему времени леса составляют около 17% от общей площади области, пахотные угодья – свыше 25%, луга и пастбища – около 30%, болота – 2%.

Лесная растительность на территории области начала формироваться после схода последнего ледника. Возможно, она существовала на повышенных местах еще до спуска вод озерно-ледникового водоема [Завалишин, Надеждин, 1961]. Первоначальный состав лесов, по данным полинологического анализа, был характерен для таежной зоны. Разумеется, за столь длительный период видовой состав лесов менялся многократно. В дриасовое время на этой территории господствовали лесотундра и редколесья из сосны и березы. В предбореальную и бореальную эпохи (10,4 – 8 тыс. лет назад) господствовали леса из сосны, а в атлантическую – дубово-широколиственные. Затем несколько похолодало, и флора вновь обогатилась таежными элементами [Дроздов и др., 1989]. В историческую эпоху площадь лесов сократилась в несколько раз.

Ботанический состав лесов весьма разнообразен. В целом по области преобладает береза, занимающая 24% от общей площади лесов. Весьма распространены хвойные породы, из которых господствуют ель (19,3%) и сосна (18,8%). Доля лиственницы весьма незначительна и составляет 0,1%. Из широколиственных пород преобладает дуб – 14,3%, ясень занимает гораздо меньшие площади – 4,6%. Распространение остальных пород весьма невелико: липа – 2,0%, бук и граб – 1,1%, клен – около 0,1%. Заболоченные леса представлены в основ-

ном черноольшанниками (14,4%). Остальные породы встречаются как примесь в смешанных лесах. Подлесок представлен лещиной, жимолостью, бересклетом, крушиной, бузиной, смородиной, рябиной. В целом биоразнообразии достаточно велико – насчитывается свыше 100 видов деревьев, кустарников и полукустарников [Дедков, 1999].

Среди видов травянисто-кустарникового яруса весьма распространены черника, брусника, кислица, майник, седмичник, луговик извилистый, ожика, марьяник лесной, медуница, бор, ветреница, зеленчук, ясенник, сныть, ландыш, звездчатка и мятлик.

Разнообразие почвообразующих пород, мезоклимата и длительная интенсивная деятельность человека обусловили формирование многообразных лесных ценозов. Березовые и осиновые мелколиственные леса являются вторичными, сформировавшимися на месте коренных смешанных или широколиственных лесов. Такие вторичные леса частично сохраняют присущий коренным лесам наземный растительный покров. Кроме бывших вырубков, березняки с небольшой примесью других пород встречаются на пониженных избыточно-увлажненных местоположениях. На низинных болотах произрастают березняки со значительной примесью черной ольхи, а на переходных – с примесью сосны и изредка черной ольхи. В травяном покрове господствуют тростник и осоки. Моховой покров представлен сфагнумами.

Сосновые леса встречаются как на сухих местообитаниях, так и на избыточно увлажненных, большинство из этих лесов также являются вторичными. К сухим лесам относятся сосняки лишайниковые, для которых характерен низкий бонитет – III – V. Подлесок в них часто отсутствует, реже представлен можжевельником. Произрастают лишайниковые сосняки на мощных эоловых или флювиогляциальных песчаных отложениях, как правило, запас подстилки там не превышает 30 т/га, поэтому гумусообразование отличается весьма низкой интенсивностью. К этому же типу сухих сосняков относятся со-

сняжки-верещатники, которым некоторые авторы [Леонтьев, 1955] приписывают послепожарное происхождение.

В несколько более увлажненных местах расположены сосняки бруснично-черничные. Это насаждения высокого бонитета (II, иногда I) с господством сосны и примесью ели, березы, реже дуба и осины. Увеличение увлажнения по сравнению с лишайниковыми сосняками ведет к интенсификации процессов гумусообразования и гумусонакопления. Под такими сосняками формируются полноразвитые дерново-подзолистые почвы с выраженным гумусо-аккумулятивным горизонтом.

В местообитаниях нормального увлажнения встречаются сосняки с примесью ели, березы, осины, дуба, клена и ясеня. В таких лесах хорошо развит подлесок из малины, ежевики, жимолости. Сосняки нормального увлажнения отличаются наиболее интенсивным биологическим круговоротом по сравнению с другими хвойными лесами. К этой же группе относятся сосняки орляковые, в травяных покровах которых доминирует папоротник-орляк. Встречаются также сосняки с густым разнотравно-злаковым покровом.

К соснякам избыточного увлажнения относятся сосняки-зеленомошники, сосняки багульниковые и сосняки сфагновые. В указанном ряду нарастает переувлажнение, снижается бонитет и биопродуктивность, также наблюдается прогрессивное увеличение мощности органогенных почвенных горизонтов и одновременное снижение гумусированности минеральной части профиля.

Чистые ельники встречаются редко. Доминируют ельники-кисличники и ельники травяно-кислые. Последние являются смешанными лесами с преобладанием ели и присутствием дуба и липы. В травяном покрове преобладает кислица. Ельники отличаются высоким бонитетом (Ia, I, реже II). К таким лесам часто приурочены дерново-среднеподзолистые почвы с выраженным гумусово-аккумулятивным и элювиальным горизонтами.

Большинство широколиственных лесов было вырублено в последнее столетие, в настоящее же время занятая широколиственными лесами площадь не соответствует биоклиматическому потенциалу региона.

Кроме того, во многих широколиственных лесах производились посев и посадка ели, в результате чего они превратились в смешанные (елово-широколиственные). В западной части области встречаются небольшие участки искусственных насаждений дуба, граба, ясеня, а также смешанных насаждений различных широколиственных пород. В Зеленоградском районе имеются небольшие массивы букового леса. Широколиственные леса отличаются высоким бонитетом (Ia, I, редко II), интенсивными процессами разложения опада, умеренным накоплением подстилки и весьма активным гумусообразованием. Под такими лесами в автоморфных и полугидроморфных условиях формируются бурые лесные почвы, реже – дерново-слабоподзолистые глубоко оподзоленные.

На значительной части заболоченных массивов основной лесообразующей породой является черная ольха – практически единственная порода, представленная на восточном и юго-восточном побережье Куршского залива, также значительные площади она занимает и на побережье Калининградского залива. На топяных болотах господствуют крупноторфяные черноольшанники II – III классов бонитета. На осушенных низинных болотах растут кислично-травяные черноольшаники с примесью дуба, ясеня, березы, иногда ели, а на некоторых участках на месте бывших черноольховых лесов созданы высокопродуктивные дубово-ясневые насаждения.

Видовой состав лесных пород оказывает существенное влияние на характер почвенного органического вещества. Исследования И.С. Кауричева и Е.М. Ноздруновой (1964) показали, что при разложении хвои ели в условиях оптимального увлажнения образуется 15 мг/л органических кислот и 149 мг/л таннидов (соединений полифенольной природы, обладающих слабыми кислотными и сильными восстанови-

тельными свойствами). Разложение листьев березы в тех же условиях дает 35 мг/л органических кислот и 123 мг/л полифенолов, листья дуба дают лишь 39 мг/л полифенолов. Таким образом, листва дуба формирует наименее агрессивную по отношению к первичным минералам органику с относительно невысокой восстанавливающей способностью, в то время как продукты разложения опада ели и березы могут в случае низкого содержания оснований в минеральном горизонте служить агентами оподзоливания.

Распределение основных лесообразующих пород по территории Калининградской области неравномерно. В западных, центральных и южных районах наблюдается относительно высокая доля широколиственных пород, тогда как в северных и восточных явно выражено преобладание хвойных. Исключение составляет Балтийский и Куршский лесхозы, где на территории Куршской и Вислинской кос господствуют сосняки кислично-черничные, а на дюнах – сосняки лишайниковые. На Куршской косе сосна составляет 65,3% древостоя, а на Балтийской – 63,2. Береза занимает 15,5 и 20,3% соответственно. Ольха распространена на пониженных участках кос и у основания Куршской косы. Покрытые ольхой площади составляют 14,7 и 9,1% соответственно.

В Зеленоградском районе, где небольшие лесные массивы расположены на холмисто-моренной сильнорасчлененной возвышенности с замкнутыми и полузамкнутыми межхолмными понижениями, доля дуба выше, чем в среднем по области, она составляет 20,3%, сосна же занимает лишь 10,1%. Площади, занятые березой, здесь на 3% выше среднеобластных значений; ели в этом районе также больше, чем в среднем по области. Следует отметить, что значительные площади под этими породами указывают на преобладание искусственных насаждений. Хорошо дренированные супесчаные и легкосуглинистые моренные породы малопригодны для ельников. Так, за период с 1961 по 1996 г. площади, занятые елью, здесь сократились на 8,5% [Дедков, 1999]. В последние годы также

отмечено выпадение ели, особенно интенсивно в экстремально засушливом 2002 г.

В южных и центральных районах области доля дуба, бука, граба и ясеня существенно выше, чем в среднем по области, а площади под хвойными породами меньше. В Багратионовском районе за последнее десятилетие также отмечено выпадение ели. В Краснознаменском районе господствуют хвойные породы, занимающие более 2/3 всей площади под лесом. Сосна господствует преимущественно на песчаной равнине в междуречьи Шешупе и Немана, ель – в лесах на Шешупе-Инстручской моренной абрадирующей равнине, сложенной преимущественно породами тяжелого гранулометрического состава. Леса Виштынецкой возвышенности – преимущественно сосновые, часто со значительной примесью ели. Обилие березняков (24,7% лесопокрытой площади) свидетельствует об антропогенном происхождении лесов даже в этой удаленной от городских центров местности.

В Правдинском, Черняховском и Багратионовском районах отмечается слабое распространение сосны. Основные виды леса здесь представлены смешанными елово-дубовыми сообществами, реже – дубово-широколиственными с ясенем, буком, иногда кленом. По-видимому, граница между смешанными лесами с преобладанием хвойных пород и широколиственными лесами, где доля таежных элементов относительно низкая, проходила несколько веков назад по следующей линии: пос. Тимирязево – пос. Жилино – ниже течения р. Писсы – западные склоны Виштынецкой возвышенности. К востоку от этой границы преобладали зональные автоморфные дерново-палево-подзолистые почвы, к западу весьма широко распространено буроземообразование.

Как уже было отмечено выше, в историческое время большинство лесов было сведено и преобразовано в сельскохозяйственные угодья. На рубеже XIX и XX вв. основным направлением сельского хозяйства Восточной Пруссии стало животноводство. Доля лугопастбищных угодий в 1927 г. составляла

18,5% общей площади территории, а в 1943 г. она увеличилась до 30,2% [Церлинг, 1959]. Из общей площади лугопастбищных угодий около 12% составляют пойменные луга, а 88 – материковые луга, из которых меньшая часть – низменные увлажненные равнины, а большая – суходольные сеяные луга. Вне пойм естественная луговая растительность сохранилась фрагментарно, главным образом на опушках лесов.

Растительность возвышенной части пойменных лугов представлена злаково-бобово-разнотравными сообществами. Доминантами являются обычно костер безостый, ежа сборная, овсяница красная. Относительно часто встречаются люцерна серповидная, мышиный горошек, чина луговая. На более увлажненных участках пойм преобладают лисохвост, канареечник, манник, лабазник.

Сеяные суходольные материковые луга в Восточной Пруссии состояли из бобовых компонентов в сочетании с верховыми злаками, долголетние луга перепашивали один раз в 5 – 8 лет с целью недопущения перерождения дернины и снижения продуктивности.

Состав травосмесей приурочивали к рельефу и свойствам почв, в ряде хозяйств луга делили на ранопоспевающие (лисохвост на сырых местах; ежа – на сухих) и позднепоспевающие (канареечник на сырых местах, мятлик луговой, тимофеевка, овсяница – на сухих). На долголетних лугах часто снимали два укоса: первый – в середине июня, второй – в конце августа. На луговых применялись органические удобрения главным образом перепревший навоз или компосты в дозе 10 т/га [Турнас, 1959]. На кислых почвах к каждому кубометру компоста добавлялось 10 кг известняковой муки.

Таким образом, в первой половине XX в. на значительной части территории современной Калининградской области были сформированы высокопродуктивные лугопастбищные агроценозы. Сеяные луга давали за 2 укоса до 70 ц сена с 1 га, пастбищные угодья – до 200 ц/га зеленой массы. Тем не менее за счет накопления значительных количеств пожнивных ос-

татков и корневой массы суммарный поток детрита составлял 8 – 10 т/га. С помощью широко применявшихся средств химизации – известкования и внесения минеральных удобрений – поддерживалась высокая биологическая активность почв, что давало повышенный выход гумусовых веществ из детрита. На большинстве занятых лугопастбищными угодьями площадей был достигнут бездефицитный баланс гумуса.

Исследования комплексной экспедиции АН СССР в 1949 – 1952 гг. показали, что многие луга подвергались вторичному заболачиванию из-за разрушения мелиоративных систем во время войны (1939 – 1945 гг.) [Завалишин, Надеждин, 1961]. Во второй половине XX в. лугопастбищные угодья занимали свыше 30% от всей площади области, из них на пойменные – приходилось не более 12% от общей площади сенокосно-пастбищных угодий, остальное – низинные луга среди водораздельных равнин и материковые суходольные сеяные луга.

Луговая растительность на единицу конечной продукции (сена) дает около двух единиц поверхностных и подземных растительных остатков. Оптимальное соотношение бобовых и злаковых компонентов в травостое дает отношение C : N в детрите 17 – 20, что благоприятствует образованию гуминовых кислот и увеличивает скорость гумификации. Длительное – на протяжении многих десятилетий – использование культурного сенокоса или пастбища приводит к росту содержания органического вещества в почвенном профиле и оптимизации группового состава гумуса (рис. 3).

Структура посевных площадей с 20-х гг. XX в. отражала ведущую роль животноводства в сельском хозяйстве сначала Восточной Пруссии, а затем и Калининградской области. В межвоенные годы основная масса зерновых возделывалась с целью получения фуражного зерна, кроме того, возрастала доля однолетних и многолетних трав в структуре севооборотов. В послевоенные годы сельское хозяйство сохраняло преимущественно животноводческое направление (табл. 5).

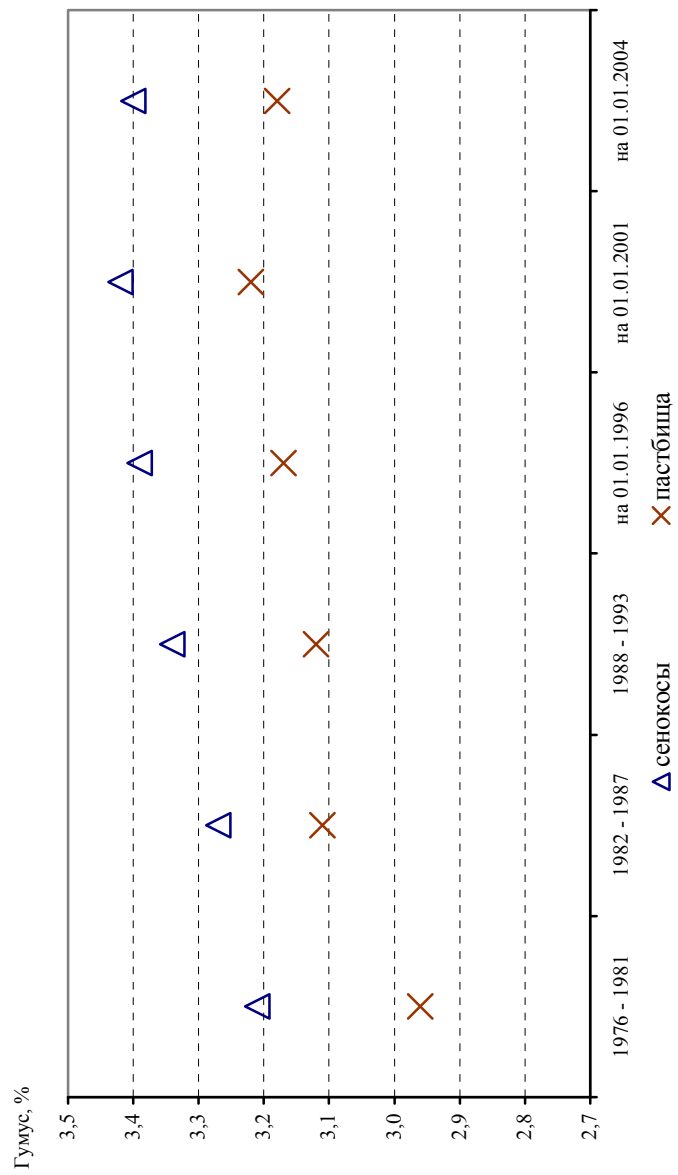


Рис. 3. Содержание гумуса в почвах пастбищ и сенокосов

Таблица 5

Структура посевных площадей в Калининградской области за период 1961 – 2000 г., тыс. га

Культура	1961 – 1965	1966 – 1970	1971 – 1975	1976 – 1980	1981 – 1985	1986 – 1990	1991 – 1995	1996 – 2000
Озимая пшеница	28,29	34,57	40,24	38,77	46,62	60,66	58,22	38,68
Озимая рожь	33,64	23,90	28,07	21,50	27,92	26,99	17,69	11,21
Ячмень	8,49	19,38	68,31	78,44	66,07	58,99	56,22	34,48
Овес	8,12	12,41	22,95	15,72	20,53	15,78	15,08	8,17
Зерновые бобовые	6,59	7,50	4,56	6,39	11,23	15,29	9,77	10,31
Картофель	5,96	7,18	7,46	8,07	8,25	7,95	3,04	9,65
Многолетние травы	51,23	78,64	95,69	102,41	122,77	122,50	116,25	104,87
Однолетние травы	17,22	30,23	28,67	37,05	28,62	18,90	10,84	5,49
Общая посевная площадь	343,8	373,9	383,2	396,3	397,1	398,3	348,4	248,8

До конца 80-х гг. XX в. увеличивались площади под многолетними травами. Их доля достигла 1/3, что при относительно низкой площади под пропашными культурами уменьшило остроту проблемы поддержания бездефицитного баланса гумуса. В период интенсивной химизации земледелия получили распространение посевы однолетних кормовых трав с преобладанием бобовых, что обогащало почвы связанным в органические соединения азотом и тем самым способствовало повышению качества почвенного органического вещества. На рубеже 80 – 90-х гг. XX в. началась переориентация растениеводства на коммерческие культуры. Возросли доли рапса, картофеля и озимой пшеницы. Одновременно резко сократилось поступление азота в агроэкосистемы вследствие падения объемов применения минеральных и органических удобрений. Состав пожнивно-корневых остатков оказался обогащен лигноцеллюлозными фрагментами (табл. 6).

Таблица 6

**Качественный состав растительных остатков
[Левин и др., 1986]**

Культура	Отношение С : N	
	Корни	Поверхностные остатки
Озимая пшеница	72,1	67,6
Ячмень	37,3	57,8
Горох	17,4	24,6
Картофель	34,1	14,4

Поступление в почву большой массы органического вещества с низким содержанием азота изменяет соотношение различных групп почвенных микроорганизмов, вследствие чего снижается скорость гумификации и образуется более фульватный гумус. Поэтому такой агротехнический прием, как послеуборочная запашка соломы с целью пополнения фонда лабильного органического вещества, требует обязательного дополнительного внесения минерального азота в дозе 20 – 30 кг д. в. на га.

Глава 2 || СОДЕРЖАНИЕ, ЗАПАСЫ И СОСТАВ ГУМУСА
В ОСНОВНЫХ ТИПАХ ПОЧВ
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

2.1. Особенности гумусного состояния почв под лесами

Основное отличие процессов гумусообразования под лесными почвами от почв под травянистой растительностью заключается в ином количестве и химическом составе поступающих растительных остатков. Кроме того, в лесных биогеоценозах биологический круговорот ряда химических элементов можно считать квазизамкнутым, так как здесь в отличие от агроэкосистем не наблюдается ежегодное отчуждение значительной части первичной биологической продукции с урожаем. В экосистемах зрелого леса ежегодное поступление в почву углерода свежих растительных остатков примерно равно его потерям на дыхание и вынос из пределов почвенного профиля с нисходящими токами влаги. Однако формы и количество органического углерода в лесных почвах варьируют в весьма широких пределах.

На формирование почвенного профиля лесных почв оказывает влияние та же совокупность факторов почвообразования, что и на других почвах. С другой стороны, лесная растительность сама активно воздействует на климат, водный, тепловой режимы и дневные горизонты литосферы. Под пологом леса формируется своеобразный микроклимат, особенностями которого являются значительное снижение солнечной радиации, снижение скоростей ветра, увеличение относительной влажности и уменьшение ее суточных колебаний, а также более плав-

ный термический режим. Водный режим лесов формируется в условиях относительно интенсивной десукции, то есть испарения воды с поверхности листьев. Кроме того, пониженная освещенность препятствует физическому испарению воды с поверхности почвы, а также удлиняет период снеготаяния. Вследствие этого весеннее половодье оказывается длиннее, чем на безлесных пространствах, а интенсивность паводка – ниже.

Влияние лесной растительности на минеральную часть почвы вызывается главным образом микоризными грибами, разрушающими некоторые почвенные минералы. Воздействие самих древесных корней на минеральный субстрат гораздо меньше. Гораздо большее влияние оказывают мигрирующие с нисходящим током почвенных растворов органические вещества кислотной природы. К ним относятся как неспецифические почвенные органические вещества (моно- и дикарбоновые аминокислоты, низкомолекулярные алифатические кислоты, фенольные соединения), а также специфические гидрофильные соединения, объединяемые во фракцию кислоторастворимых фульвокислот (ФК 1а). Считается, что эта группа органических веществ является подзолообразующими агентами [Вильямс, 1940; Пономарева, 1964; Ярков, 1961]. Кроме вышеперечисленных веществ, в условиях промывного режима возможна также миграция гидрофильных гуминовых кислот, а также гуматов и фульватов одновалентных катионов – калия, аммония, натрия. Эти вещества экстрагируются из почвы слабыми растворами щелочей и объединяются в первую фракцию гумусовых веществ.

Химический состав опада и глубина проникновения корневых систем во многом определяет направление почвообразовательных процессов. В условиях климата Южной Прибалтики на относительно водопроницаемых породах под широколиственными лесами (граб, дуб, местами бук) формируются почвы буроземного типа почвообразования. Под смешанными лесами со значительной до-

лей ели или сосны наблюдается развитие подзолообразовательного процесса, степень выраженности которого колеблется от слабого – едва заметного при морфологическом исследовании – до вполне четко выраженных элювиальных горизонтов. Подзолообразование часто весьма выражено и под хвойными лесами. Однако, как было отмечено еще А.А. Завалишиным и Б.В. Надеждиным (1961), состав лесных пород не всегда соответствует степени оподзоленности почвы. Причиной этого является антропогенное происхождение большинства современных лесов области.

Накопление и распределение органического вещества в профиле почв под хвойными и смешанными лесами в значительной мере зависит от условий увлажнения. Значительная мощность легких проницаемых пород при относительно низком залегании грунтовых вод приводит к хорошей аэрации почвенного профиля, усиливает микробиологическую активность, а при выраженном промывном режиме и очень низком содержании илистой фракции – к преобладанию процессов минерализации опада. Запасы органического вещества в маломощной подстилке невелики, новообразованные гумусовые вещества легко проникают в нижние горизонты профиля и выносятся с грунтовыми водами. Распределение общего органического вещества в профиле дерново-слабоподзолистых почв показано на рисунке 4.

Запас органического вещества в профиле легких почв под хвойными лесами колеблется в пределах 50 – 90 т/га. Минимальные значения характерны для сосняка-верещатника, несмотря на относительно высокие значения биопродуктивности (II класс бонитета). На более богатых флювиогляциальных песках условия для закрепления органического вещества несколько лучше. В целом для хвойных лесов на автоморфных легких почвах характерны минимальные значения запасов гумуса в профиле.

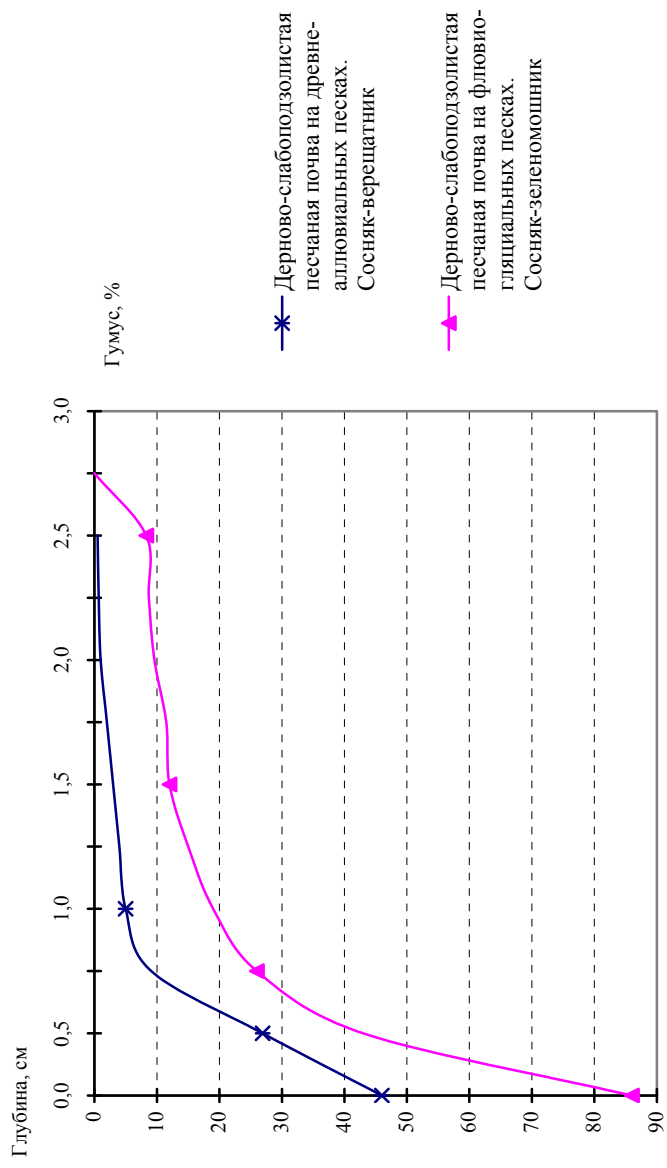


Рис. 4. Распределение органического вещества в профиле дерново-слабоподзолистых песчаных почвах
 [А.А. Завалишин, Б.В. Надеждин, 1961]

Состав органического вещества горизонта A_1 или A_1A_2 таких почв весьма своеобразен. Водорастворимый гумус составляет около 1% от общего. В составе гуминовых кислот отчетливо преобладает первая фракция, составляющая около 2/3 от их общей массы. Фракция гуматов кальция ($ГК_2$) не обнаруживается, так как практически весь кальций вымыт кислыми почвенными растворами в грунтовые воды. Третья часть гуминовых кислот извлекается в жестких условиях. Это достаточно устойчивая, консервативная часть гумуса представлена гидрофобными гуминовыми кислотами, а также их комплексами с трехвалентными катионами, преимущественно железом и алюминием. Распределение фульвокислот по фракциям сходно с распределением гуминовых кислот. В песчаных почвах Калининградской области доля негидролизующего остатка составляет менее 1/3 от общей массы органического вещества [Барановская, 1952].

В полугидроморфных почвах на песчаных породах отчетливо проявляется гумусово-иллювиальный процесс. Профиль таких почв отчетливо дифференцирован на генетические горизонты. Приведем описание дерново-среднеподзолистой глеевой песчаной почвы на древнеаллювиальных песках.

Разрез 22. Краснознаменский район.

Плоская древнеаллювиальная равнина.

Смешанный лес. Доминант – сосна, субдоминанты – ель, береза.

Поверхность почвы покрыта зелеными мхами

A_0	$\frac{0-3}{3}$	Лесная подстилка из опавших листьев, хвои, веток. Сверху – слаборазложившаяся, внизу – степень разложения увеличивается.
A_1	$\frac{3-17}{14}$	Темно-серый, песчаный, влажный, бесструктурный, рыхлый, обильные корни. Переход ясный по цвету.
A_2	$\frac{17-31}{14}$	Несколько светлее предыдущего, по темно-серому гумусированному фону-обильная кремнеземистая присыпка. Рыхлый, песчаный, влажный, бесструктурный, обильные корни. Переход ясный по цвету и плотности.

2.1. Особенности гумусного состояния почв под лесами

B_h	$\frac{31-41}{10}$	Темно-кофейного цвета, супесчаный, влажный, плотный, корни деревьев. Переход ясный по цвету и плотности.
B_{hf}	$\frac{41-47}{6}$	Коричневый, песчаный, рыхлый. Единичные корни растений. Переход в следующий горизонт резкий по плотности.
B_f (Ort)	$\frac{47-65}{18}$	Очень плотный бурый цементированный гидратами окислов железа горизонт. Корней нет. Переход в следующий горизонт резкий по цвету и плотности.
G_r	$\frac{65-90}{25}$	Сырой, к низу мокрый, белесовато-сизый, однородно окрашенный песок. Грунтовые воды с 90 см.

Почва – дерново-среднеподзолистая песчаная ортзандовая на древнеаллювиальном песке.

В отличие от автоморфных в вышеуказанной почве доминирующим процессом является иллювиально-гумусовый. Относительно малая мощность лесной подстилки свидетельствует о весьма интенсивной микробиологической деятельности. Гумусово-аккумулятивный горизонт четко выражен, содержание органического вещества в нем в пересчете на гумус составляет 7,15%. Под ним залегает сильно оподзоленный горизонт A_2 , в котором наряду с гумусированным материалом верхнего горизонта встречаются обильные зерна кварца, полностью отмытые от органического вещества и гидратов окислов железа. Содержание гумуса в нем падает до 1,1%, при этом содержание элементов питания, а также обменных катионов принимает минимальные значения.

Далее следуют горизонты вымывания, где фиксируются органоминеральные соединения железа и алюминия. Под очень плотным ортзандом залегает практически лишенный гумуса оглеенный песок. В иллювиально-гумусовой части профиля наблюдается четко выраженный второй максимум содержания гумуса. В горизонте B_h содержание гумуса составляет 4,3%, в B_{hf} снижается до 3,07, а в ортзандовом горизонте – 1,95%. Глубже обнаруживаются лишь следы органического вещества.

Состав гумуса обнаруживает сходство с автоморфными почвами под хвойными лесами, для негидролизующего остатка он не превышает 20% от общего углерода в верхней части профиля. В иллювиально-гумусовых горизонтах практически весь гумус легкоподвижен. По всему профилю резко преобладает первая фракция гумусовых веществ. Гуматов и фульватов щелочноземельных оснований нет. Доля третьей фракции в гумусово-аккумулятивном горизонте составляет около 25%, вниз по профилю она заметно снижается. Таким образом, профиль легких полугидроморфных почв с ясно выраженными признаками оподзоливания формируется под активным воздействием подвижных гумусовых веществ.

Отношение гуминовых кислот к фульвокислотам, являющееся по Д.С. Орлову (1990) характеристикой глубины гумификации, коррелирует с распределением общего органического вещества. В гумусово-аккумулятивном горизонте оно составляет 0,6, в подзолистом – сужается до 0,4, в B_h – снова расширяется до 0,7, ниже падает до 0,5 в B_{hf} и 0,2 в ортзандовом горизонте. При этом абсолютные значения содержания гуминовых кислот вниз по профилю снижаются. Гуминовые кислоты в свободном виде накапливаются в верхнем горизонте, часть из них в виде кислых солей железа, алюминия и некоторых микроэлементов мигрирует в иллювиальный горизонт, где происходит их насыщение поливалентными катионами, вызывающее снижение растворимости и их закрепление в этой части профиля.

Фульвокислоты и их соли обладают в кислой среде высокой миграционной способностью. Часть фульвокислот проникает до ортзандового горизонта, где осаждается на окислительно-восстановительном барьере. Таким образом, происхождение гумуса в горизонтах A_1 и B различно. В горизонте A_1 преобладает образовавшийся на месте гумус, миграция растворимых органических веществ из подстилки имеет подчиненное значение. Напротив, в гумусово-иллювиальных горизонтах доля образующегося на месте гумуса незначительна.

Основная масса гумусовых веществ поступает сюда с нисходящим током почвенных растворов.

Иллювиально-гумусовый процесс проявляется на легких почвах под хвойными или смешанными лесами. Временное переувлажнение увеличивает содержание органического вещества в горизонте B_h и глубину проникновения вымываемого гумуса. Почвы, сформировавшиеся в таких условиях, можно считать аналогами целинных легких полугидроморфных почв, так как они наряду с почвами верховых болот подвергались антропогенному воздействию в наименьшей степени.

Почвы, находящиеся под смешанными, широколиственными и березовыми лесами, в большинстве случаев прошли через стадию антропогенного почвообразования. Относительно близкими к естественному состоянию можно считать почвы дубовых лесов возрастом более 100 лет. Исследования Д.В. Чернова и Е.Л. Кирилловой (1996) показали, что окультуренные дерново-подзолистые почвы в Ленинградской области через 70 лет после поселения вторичного смешанного леса возвращаются по некоторым параметрам в исходное, целинное состояние. В Калининградской области длительность и интенсивность биологической активности больше, поэтому морфологические и физико-химические изменения наступают быстрее.

На почвообразовательные процессы и накопление гумуса под лиственными лесами влияет гранулометрический состав почвы и почвообразующей породы. На безвалунных флювиогляциальных глинах на процессы разложения и гумификации опада оказывает воздействие периодический анаэробнозис, вызванный застоем воды на глинистом водоупоре. В анаэробных условиях в 2,5 – 3 раза повышается выход органических кислот и полифенолов при разложении листового опада [Кауричев, Ноздрунова, 1964]. Результатом становится закисление гумусово-аккумулятивного горизонта и всей толщи кроющего наноса, а также выщелачивание карбонатов из верхней части глинистой почвы. Иллюстрацией может служить описание разреза 24.

Разрез 24. Черняховский район.
Плоская равнина. Широколиственный лес.
Доминант – дуб, субдоминант – граб

A ₀	$\frac{0-2}{2}$	Лесная подстилка. Сверху – слаборазложившийся прошлогодний опад, ниже – степень разложения увеличивается.
A ₁	$\frac{2-13}{11}$	Гумусово-аккумулятивный горизонт светло-серого цвета, среднесуглинистый, влажный, плотный. Древесные корни. Переход ясный.
AB	$\frac{13-28}{15}$	Светлее предыдущего, среднесуглинистый, плотный, влажный, гумусовые потеки, корни растений, по ходам древесных корней заметна прокраска гумусом. Переход четкий по цвету, граница слабо-волнистая.
B	$\frac{28-76}{48}$	Красно-коричневый, глинистый, плотный, влажный до сырого. Переход постепенный.
BC	$\frac{76-100}{24}$	Красно-коричневый, глинистый, плотный, влажный. Включения карбонатов в виде конкреций.

Почва – дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на безвалунной флювиогляциальной карбонатной глине.

Общее содержание органического вещества в профиле данной почвы значительно ниже, чем в дерново-подзолистой почве под хвойным лесом. В гумусо-аккумулятивном горизонте оно составляет 3,1%, в нижележащем – 1,05. В нижних горизонтах содержание органического вещества постепенно сокращается и составляет в горизонте В – 0,80, в горизонте ВС – 0,62. Таким образом, распределение органического вещества существенно отличается от дерново-подзолистой песчаной почвы.

Гранулометрический состав, характер опада и растительных остатков, а также водный режим накладывают отпечаток на состав гумуса. В верхних горизонтах, как и в легкой кислой почве, преобладают подвижные гумусовые вещества первой фракции. Заметно преобладание бурых гуминовых кислот, составляющих более 15% от общего углерода. Содержание подвижных фульвокислот немного меньше, здесь растворимая в щелочах первая фракция несколько преобладает над кислото-

растворимыми «агрессивными» фульвокислотами и низкомолекулярными неспецифическими органическими соединениями. Тем не менее такой гумус способен создавать относительно высокую потенциальную кислотность.

Другим важным отличием органического вещества почвы под листовым лесом от рассмотренной выше почвы под хвойными породами является наличие второй фракции гумусовых веществ – гуматов и фульватов щелочноземельных оснований. Их доля составляет около 12% от общего органического вещества, причем, как и в первой фракции, отмечается незначительное преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами. Аналогичная закономерность отмечается для дерново-слабоподзолистых суглинистых почв. Это связано с особенностями биологического круговорота зольных элементов в хвойных и широколиственных лесах. В хвойных лесах Южной Прибалтики содержание золы в опаде составляет 2,2 – 4,2%, в широколиственных – 3,5 – 5%. Масса опада в широколиственных лесах составляет 115 – 130% от массы опада хвойных, причем среди зольных элементов преобладает кальций. Глубоко проникающие корни дуба способны извлекать кальций из карбонатных горизонтов, 85 – 90% годового захвата которого возвращается в почву с опадом. Обогащенный зольными элементами, в частности кальцием, опад гумифицируется значительно быстрее. Продуктами гумификации наряду со свободными гуминовыми кислотами являются гуматы и фульваты кальция.

При движении в нижележащие горизонты почвенного профиля доля гуматов щелочноземельных оснований снижается, при этом возрастает содержание консервативного гумуса – третьей фракции гумусовых веществ и негидролизованного остатка – гумина. Здесь возрастает роль гранулометрического состава, и в частности илистой фракции, в закреплении гумусовых веществ. В третьей фракции гумуса преобладают фульвокислоты. В целом отношение гуминовых кислот к фульвокислотам в верхнем горизонте составляет 0,8, ниже оно незначительно сужается.

В целом биологическая активность дерново-слабоподзолистых суглинистых почв под лиственным лесом несколько выше, чем в легких полугидроморфных почвах под хвойным лесом. Преобразование органического вещества происходит с большей скоростью и большей глубиной.

Гумусовое состояние почв под молодыми вторичными лиственными лесами сохраняет некоторое сходство с органическим веществом пахотных почв. Это, во-первых, относительно низкое содержание органического вещества в гумусово-аккумулятивном горизонте; во-вторых, относительно стабильное отношение $C_{гк} : C_{фк}$ в гумусированной части профиля. Групповой и фракционный состав гумуса представлен в таблице 7.

Таблица 7

Групповой и фракционный состав гумуса дерново-слабоподзолистой почвы под вторичным лиственным лесом

Горизонт	$C_{орг}, \%$	$C_{гк}, \% \text{ к } C_{орг}$			Сумма	$C_{фк}, \% \text{ к } C_{орг}$				Сумма	$\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$	Не-гидролизуемый остаток
		1	2	3		1а	1	2	3			
A ₁	1,49	12,1	7,1	11,4	30,5	4,0	15,5	9,9	11,2	40,6	0,75	29,9
A ₁ A ₂	0,88	9,0	8,4	11,7	29,1	8,2	11,1	8,9	10,2	38,4	0,76	32,5

В западной и центральной части области на водопроницаемых породах под современными широколиственными лесами и на месте бывших распространены бурые лесные почвы. Они характеризуются весьма интенсивной микробиологической активностью, узким отношением запасов органического вещества в лесной подстилке к запасам в гумусово-аккумулятивном горизонте. Отношение $C_{гк} : C_{фк}$ в них составляет 0,8 – 0,9 для автоморфных почв и 0,6 – 0,7 для полугидроморфных разновидностей [Анциферова, 2002].

2.1. Особенности гумусного состояния почв под лесами

В целом гумус лесных почв Калининградской области характеризуется высокой подвижностью, относительно низким содержанием негидролизуемого остатка, средней степенью гумификации органического вещества. В дерново-среднеподзолистых полугидроморфных почвах отсутствует вторая фракция гумусовых веществ при заметном преобладании подвижных и агрессивных фульвокислот. В дерново-слабоподзолистых и бурых лесных почвах присутствуют гуматы кальция и, возможно, магния, что может быть вызвано как особенностями почвообразовательных процессов, так и прошлым их сельскохозяйственным использованием.

2.2. Особенности гумусного состояния почв пастбищ и сенокосов

Специализация сельского хозяйства региона на животноводстве привела к относительно высокой доли пастбищ и сенокосов в структуре землепользования. Под пастбища и сенокосы часто отводились почвы, малопродуктивные для полевых культур без коренного улучшения. На протяжении достаточно длительного времени луговые угодья использовались то как сенокосы, то под выпас, поэтому четко разделить почвы сенокосов и пастбищ весьма сложно. Тем не менее анализ состава гумуса почв под этими угодьями позволяет отметить некоторые различия (табл. 8).

Таблица 8

Содержание и фракционный состав гумуса почв пастбищ и сенокосов

Угодье	C _{орг} , %	C _{гк} , % к C _{орг}			Сумма
		1	2	3	
Сенокос	1,93	10,8 ± 1,3	4,0 ± 0,9	12,1 ± 1,2	26,9 ± 3,4
Пастбище	2,01	10,9 ± 0,9	5,1 ± 1,0	10,7 ± 1,1	26,7 ± 3,0

Общее содержание гуминовых кислот в почвах пастбищ и сенокосов практически не различается. Несущественна также разница между почвами пастбищ и сенокосов по содержанию

свободных и рыхлосвязанных гуминовых кислот. Количество гуматов кальция и магния несколько выше в почвах пастбищ, и напротив, содержание третьей фракции гуминовых кислот, закрепленных преимущественно химическими связями с гидратированными оксидами железа и алюминия, выше в почвах под сенокосами. Таким образом, глубина гумификации и общее содержание гуминовых кислот в почвах пастбищ и сенокосов практически не различаются, во фракционном составе отличия тоже невелики.

По составу фульвокислот различия между почвами под пастбищами и сенокосами также несущественны (табл. 9).

Практически по всем фракциям фульвокислот их относительные доли для почв пастбищ и сенокосов не различаются. Разность между значениями относительных содержаний фракций лежит в пределах погрешности эксперимента. Это справедливо также для негидролизующего остатка. Таким образом, тезис о близости гумусового состояния почв пастбищ и сенокосов имеет экспериментальное подтверждение. Несколько более широкое отношение гуминовых кислот к фульвокислотам в почвах сенокосов связано, по-видимому, с большей массой поступающих на единицу площади корневых остатков.

Сенокосы в Калининградской области располагаются либо в поймах рек, либо на месте осушаемых низинных болот, либо на месте бывших лесов. Последние из-за ограниченности площадей речных пойм и низинных болот преобладают. Вышеприведенные данные относятся именно к таким почвам. Близость гумусного состояния почв под суходольными сенокосами и пастбищами связана со сходным генезисом и историей культурного их использования.

Гумусное состояние внепойменных лугопастбищных угодий значительно отклоняется от вышеприведенных данных из-за значительного переувлажнения тяжелых полугидроморфных почв, в которых в отличие от почв под лесом переувлажнение сопровождается увеличением выхода гуминовых кислот и негидролизующего органического вещества.

2.2. Особенности гумусного состояния почв пастбищ и сенокосов

Профиль таких почв имеет выраженный гумусово-аккумулятивный горизонт, под которым залегает переходный горизонт с корневинами и ходами червей. Ниже находится оглеенная суглинистая или глинистая материнская порода, содержащая карбонаты. Корнеобитаемый слой луговой растительности находится в зоне капиллярного поднятия жестких грунтовых вод. Это ведет к насыщению образующихся гумусовых кислот кальцием и ослаблению миграционной способности новообразующихся гумусовых веществ. Примером такой почвы может служить почва разреза 1, заложенного на пастбище, расположенном на флювиогляциальной равнине южного подпруженного района (Багратионовский район, АОЗТ «Славянский»).

Описание разреза 1

A ₁	<u>0–15</u> 15	Гумусовый горизонт серо-коричневого цвета, тяжелосуглинистый, плотный, влажный, густо пронизан корнями растений. Переход ясный по цвету.
B ₁	<u>15–35</u> 20	Коричневый, тяжелосуглинистый, мажущийся, гумусовые затеки по корневинам и ходам червей. Уплотненный, влажный. Переход заметный.
B _{2gk}	<u>35–57</u> 22	Кирпично-красный, плотный, тяжелосуглинистый, сизые пятна оглеения. Единичные корни растений, ходы червей, черви, включения гальки. Вскипает от HCl. Переход постепенный.
BC _{gk}	<u>57–76</u> 19	Коричневого цвета с сизыми пятнами оглеения, тяжелосуглинистый, плотный, влажный до сырого, многочисленные ходы червей, корней нет. Включения гальки и карбонатов в виде конкреций. Переход постепенный по плотности и гранулометрическому составу.
C _{gk}	<u>75–120</u> 45	Серо-коричневого цвета, ржавые пятна гидроокиси железа, среднесуглинистый, сырой. Ходы червей. Включения гальки, карбонатные конкреции.

Почва – дерново-карбонатная глееватая на водно-ледниковом карбонатном суглинке.

Распределение органического вещества в профиле несколько отличается от профильного распределения в окультуренных дерново-подзолистых почвах. В гумусово-аккумулятивном горизонте содержание гумуса составило 2,6%, в горизонте B_1 – 0,8%. Далее в горизонте B_{2gk} содержание органического вещества возрастает до 1,05%, ниже падает до 0,65 и 0,5% в горизонтах BC_{gk} и C_{gk} соответственно. Фракционный состав гумуса горизонта A_1 представлен в таблице 10.

Приведенные данные отличаются от средних значений относительного содержания фракций гумуса в почвах сенокосов и пастбищ. Содержание негидролизуемого органического вещества почти в два раза выше, чем в среднем по дерново-подзолистым почвам луговых угодий, в которых в отличие от легких переувлажненных почв, несмотря на отчетливые морфохроматические признаки оглеения, органическое вещество обладает очень низкой подвижностью. Гумусообразование идет преимущественно в сторону образования и накопления веществ гуматной природы, которые закрепляются минеральной частью почвы с помощью химических связей. Свободные и рыхлосвязанные гуминовые кислоты, а также первые фракции фульвокислот представлены вдвое меньше, чем в целом по пастбищам и сенокосам.

Причин этому может быть несколько. Во-первых, относительно тяжелый гранулометрический состав. Действительно, высокое содержание ила и коллоидов способствует закреплению первоначальных продуктов гумификации по механизму, описанному в монографии Л.Н. Александровой (1980). Однако содержание илистых частиц в данной почве не намного отличается от тяжелых дерново-подзолистых почв нормального и избыточного увлажнения.

Другой причиной является наличие карбонатов вблизи от дневной поверхности. Известно, что повышенная концентрация кальция в почвенном растворе способствует коагуляции отрицательно заряженных коллоидов, в том числе и золь гумусовых веществ.

Таблица 9

Фракционный состав фульвокислот почв пастбищ и сенокосов

Уголье	C _{орг} , %	C _{фнк} , % к C _{орг}			Сумма	$\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$	Негидро- лизуемый остаток
		1а	1	2			
Сенокос	1,93	7,0 ± 1,1	11,1 ± 1,4	7,9 ± 1,3	36,0 ± 4,9	0,80 ± 0,08	36,0 ± 2,7
Пастбище	2,01	6,0 ± 0,5	12,2 ± 1,2	8,0 ± 1,0	38,1 ± 3,6	0,74 ± 0,06	35,8 ± 3,1

Таблица 10

Фракционный состав гумуса почвы разреза 1

C _{орг}	C _{гк} , % от C _{орг}			C _{фнк} , % от C _{орг}			$\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$	Гумин, % от C _{орг}			
	1	2	3	Сумма	1а	1			2	3	Сумма
1,72	6,4	5,8	11,6	23,8	3,5	5,8	2,9	4,7	16,9	1,4	59,3

Весьма вероятна роль насыщенности кальцием почвенного поглощающего комплекса, что проявляется в некотором увеличении доли второй фракции гуминовых кислот-гуматов кальция. Однако прямое влияние кальция невелико, так как доля гуматов кальция составляет лишь 5,8% от общего содержания органического углерода, а доля фульватов кальция вдвое ниже.

Основной причиной формирования инертного гуматного органического вещества, по нашему мнению, являются люмбрициды (дождевые черви). Их роль в формировании почвенного профиля и почвенного гумуса была изложена еще в классических работах Чарльза Дарвина. В ходе пищеварения в кишечнике червей происходит частичная гумификация растительных остатков. Кроме того, черви заглатывают вместе с органическими веществами и минеральные части почвы. Проходя через кишечник, минеральные частицы (особенно тонкие фракции) перемешиваются с гумифицированными растительными остатками и под действием выделяемых стенками кишечника ферментов соединяются химическими связями. Образуются копролиты – трудногидролизуемые органоминеральные соединения, придающие почвенным горизонтам мелкозернистую структуру.

Необходимыми условиями обитания червей являются наличие в почвенном профиле глинистых частиц и слабокислая или близкая к нейтральной реакция почвенного раствора. Так как почва удовлетворяет этим условиям, а токсичные в высоких концентрациях минеральные соли (удобрения) не вносятся, то численность и активность почвенной фауны весьма высока. Наличие в профиле карбонатов кальция поддерживает реакцию почвенного раствора в нейтральном и слабощелочном диапазоне, что также способствует возрастанию численности червей.

Распределение общего органического вещества в почве разреза 1 имеет некоторое сходство с дерново-среднепод-

2.2. Особенности гумусного состояния почв пастбищ и сенокосов

золистой почвой разреза 22. Так же, как и в дерново-среднеподзолистой почве, здесь наблюдается вторичный максимум содержания гумуса в горизонте В. Однако механизм накопления органического вещества и его природа принципиально различны. Если в песчаной почве под хвойным лесом органическое вещество попадает в иллювиально-гумусовый горизонт путем миграции с нисходящим током почвенных растворов, то в дерново-карбонатной почве такой путь мало вероятен как из-за высокого содержания ила и минеральных коллоидов, так и из-за насыщенности почвенного поглощающего комплекса ионом кальция, весьма эффективно коагулирующим минеральные и органические коллоиды. Здесь, без сомнения, основным фактором перемещения гумусовых веществ по профилю является деятельность почвенной фауны. Таким образом, если в легких почвах преобладают физико-химические процессы миграции и закрепления гумусовых веществ, то в дерново-карбонатных почвах вклад биогенной миграции гумуса становится решающим.

Другой группой почв сенокосов и пастбищ, заметно отличающейся по гумусному состоянию от дерново-подзолистых почв суходольных лугов, являются аллювиальные почвы пойменных сенокосов. Особенностью формирования их профиля является поступление свежего аллювия одновременно с почвообразовательным процессом в историческое время или в раннем голоцене. В аллювиальных почвах отмечается неоднородность гранулометрического состава и достаточно глубокое проникновение органического вещества в почвенный профиль. На формирование почвенного профиля и современные режимы существенное влияние оказало весьма интенсивное культурное воздействие человека, выражающееся главным образом в мелиоративных осушительных мероприятиях, а также в изменении флористического состава пойменных лугов.

Примером луговой почвы на древнеаллювиальных отложениях является почва разреза 8 (Краснознаменский район, АО «Петропавловское»)

- A $\frac{0-50}{50}$ Гумусовый горизонт темно-серого цвета, легкосуглинистый, плотный, влажный, комковатой структуры, густо пронизан корнями растений. Ходы червей, черви. Переход ясный по цвету, плотности и гранулометрическому составу.
- B₁ $\frac{50-58}{8}$ Палевый, рыхлый, песчаный, бесструктурный. Скопления гумусированного материала по ходам червей и корневинам. От HCl не вскипает. Переход постепенный.
- B_{2k} $\frac{58-80}{22}$ Рыхлый белесый песок, влажный, единичные корни растений. Вдоль корневых ходов заметна прокраска органическим веществом. Вскипает от HCl. Переход ясный по гранулометрическому составу и цвету.
- C_k $\frac{80-82}{2}$ Крупнозернистый серый песок, сырой, бесструктурный. Обильные включения гальки. Вскипает от HCl. Переход резкий по гранулометрическому составу и цвету.
- D_{gk} $\frac{82-130}{48}$ Белесый с обильными рыжими пятнами гидратированных окислов железа, тяжелосуглинистый, мокрый. Бурно вскипает от HCl. Включения гальки и моренных валунчиков.

Почва – дерновая легкосуглинистая на древнеаллювиальном песке, подстилаемая валунным карбонатным тяжелым суглинком.

В отличие от почв разрезов 1 и 22 на вышеуказанном участке распределение органического вещества по профилю несколько иное. Четко выделяется мощный гумусово-аккумулятивный горизонт, под которым содержание органического вещества резко падает. Для верхнего гумусного горизонта характерна высокая проницаемость как для воды, так и для корневых систем растений. Известно, что основная масса корней большинства луговых трав, имеющих мочковатую корневую систему, располагается в слое 0 – 15 (20) см. Полуметровая верхняя часть профиля тем не менее практически равномерно

гумусирована. Состав гумуса имеет некоторые черты сходства с легкосуглинистой дерново-подзолистой почвой под хвойным лесом, а также с ранее рассмотренной дерново-карбонатной глееватой почвой (табл. 11; рис. 5).

Отличительной чертой фракционного состава гумуса данной почвы является заметное преобладание фульвокислот в составе гидролизуемого органического вещества. Тем не менее было бы не совсем корректным считать гумус преимущественно фульватным, так как преобладающей фракцией является негидролизующее органическое вещество (гумин), а сумма гумина и гуминовых кислот превышает 2/3 от общего содержания органического углерода. Причиной тому является нейтральная реакция циркулирующих в гумусовом горизонте профиля почвенных растворов, а также деятельность почвенной фауны. Последняя, по-видимому, играет решающую роль в формировании пула негидролизующего органического вещества, тогда как связывание гуминовых кислот происходит преимущественно в форме гуматов кальция, о чем свидетельствует преобладание этой фракции в составе гуминовых кислот. Присутствие третьей фракции свидетельствует о некотором участии илистой фракции и полуторных оксидов в закреплении гуминовых кислот. Однако их роль весьма ограничена.

Свободные гуминовые кислоты присутствуют в незначительном количестве, что резко отличает эту почву от большинства дерново-подзолистых и бурых лесных почв. Группа подвижных гумусовых веществ представлена главным образом фульвокислотами. Кислоторастворимая фракция органического вещества (ФК 1а) представлена преимущественно неспецифическими низкомолекулярными соединениями. Относительно велика доля первой фракции фульвокислот, подвижных в нейтральной и щелочной среде. Вполне вероятно участие этой фракции в формировании мощного гумусового горизонта. В более глубоких горизонтах профиля содержание подвижного гумуса незначительно из-за отсутствия условий для связывания его минеральными частицами почвенного мелкозема.

Таблица 11

Фракционный состав гумуса дерновой легкосуглинистой почвы, разрез 8

C _{орг}	C _{ткв} , % от C _{орг}				C _{фкк} , % от C _{орг}				C _{лк} C _{фкк}	Негидролизу- емый остаток	
	1	2	3	Сумма	1а	1	2	3			Сумма
1,42	3,5	9,5	4,9	18,3	2,1	9,9	6,3	14,7	33,0	0,55	48,7

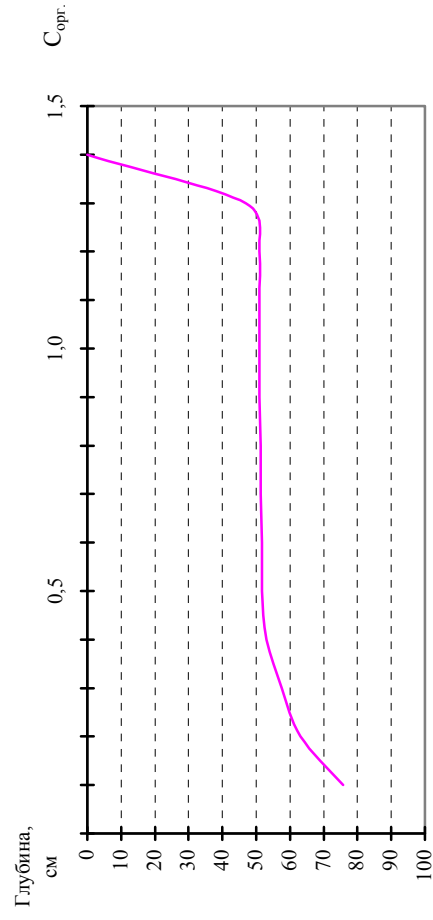


Рис. 5. Распределение общего органического вещества в дерновой легкосуглинистой на древесаллювиальных песках, подстилаемых валунным карбонатным тяжелым суглинком, почве

2.2. Особенности гумусного состояния почв пастбищ и сенокосов

Песчаные слои нижней части почвенного профиля служат проводником горизонтального оттока почвенной влаги, с которым способные к миграции фракции органического вещества его покидают. Таким образом, мощность горизонта аккумуляции гумуса ограничена верхней толщей легкосуглинистых наносов.

На легких переувлажненных дерново-глеевых почвах процессы гумусообразования и гумусонакопления имеют свои особенности. Строение почвенного профиля указывает на длительные циклы анаэробизиса в верхних горизонтах и почти постоянное переувлажнение нижней части профиля. Приведем морфологическое описание типичного разреза легкой дерново-глеевой почвы (Гурьевский район, СПК «Родина»).

Разрез 18. Замкнутое мезопонижение.

Угодье – сенокос; растительность – луговое разнотравье, доминирует мятлик луговой, осоки

A _{1g}	$\frac{0-27}{27}$	Темно-коричневый, влажный, легкосуглинистый, рыжие пятна скоплений гидратированной окиси железа, рыхлый, комковатой структуры, обильные корни растений, новообразования – железомарганцевые конкреции. Переход ясный по цвету и гранулометрическому составу.
B ₁	$\frac{27-40}{13}$	Палево-коричневый, песчаный, влажный, бесструктурный, рыхлый, рыжие пятна гидратированной окиси железа, единичные корни растений. Участки прокрашенного органическим веществом материала по корневым ходам. Переход заметный по цвету.
B _g	$\frac{40-70}{30}$	Белесый с сизоватым оттенком, влажный до сырого, песчаный, бесструктурный, рыхлый, единичные корни растений, включения рухляка. Переход заметный по цвету.
G _r	$\frac{70-115}{45}$	Сизый, сырой, снизу мокрый, бесструктурный песок. Полуразложившиеся единичные древесные корни. Вода с глубины 115 см.

Почва – дерново-глеевая легкосуглинистая на водно-ледниковом песке.

Строение профиля данной почвы имеет черты сходства с почвой разреза 8. В обоих случаях кроющий легкосуглинистый нанос подстилается песком. Однако водный режим этих почв различен. Для почвы разреза 8 характерен промывной тип водного режима, что подтверждается отсутствием в верхней части профиля признаков оглеения. Для почвы разреза 18 характерен застойный водный режим. Здесь гумусово-аккумулятивный горизонт несет выраженные признаки длительного переувлажнения, а само органическое вещество по морфологии приближается к перегнойному. Содержание гумуса в верхнем горизонте превышает 12%, далее оно резко падает до 0,6% в горизонте В₁ и 0,25 – в В₂. В сильнооглеенном горизонте содержание органического вещества вновь возрастает до 0,6%.

Аллювиальные почвы имеют весьма различное строение профиля, их гранулометрический состав зависит от скорости течения находящейся в пойме во время паводка воды. Водный режим их также весьма различен; он зависит от высоты подъема паводковых вод, зарегулированности речного стока, микрорельефа поймы, гранулометрического состава аллювиальных наносов. Гумусное состояние – мощность гумусового горизонта, содержание органического вещества в нем, распределение гумуса по горизонтам почвенного профиля – варьируется в весьма широких пределах. Статистическая обработка параметров гумусного состояния показала, что распределение большинства показателей не подчиняется нормальному закону. По содержанию органического вещества в верхнем горизонте и запасам его в профиле кривая распределения резко асимметрична, по мощности гумусового горизонта и фракционному составу гумуса коэффициент вариации превышает 100%, поэтому почвы речных пойм целесообразно разделить на несколько групп [Завалишин, Надеждин, 1961].

В северной и северо-восточной части Калининградской области можно выделить группу почв, подвергшихся минимальному антропогенному воздействию или не подвергавшемуся окультуриванию вовсе. Эти почвы распространены в пойме

2.2. Особенности гумусного состояния почв пастбищ и сенокосов

Немана и Шешупе. Для них характерен легкий гранулометрический состав, относительно невысокая мощность гумусового горизонта, постепенное снижение содержания органического вещества вниз по профилю. Примером может служить почва разреза 20 (Краснознаменский район).

Разрез 20. Пойма р. Шешупе.

Растительность – луговое разнотравье. Пастбище

A ₀	$\frac{0-3}{3}$	Дернина, образованная густо сплетенными корнями растений. Куртинки белого мха.
A	$\frac{3-35}{32}$	Серый, песчаный, бесструктурный, рыхлый. Единичные новообразования ржаво-рыжего цвета. Многочисленные корни растений. Единичные черви. Переход ясный по цвету. Граница слабоволнистая.
B ₁	$\frac{35-84}{49}$	Светло-серый, заметно светлее предыдущего, рыхлый, песчаный, бесструктурный, влажный. Ходы червей, корневины, единичные корни. Признаков переувлажнения нет. Переход заметный по цвету.
B ₂	$\frac{84-111}{27}$	Серо-коричневый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, сырой. Заметна субгоризонтальная тонкая слоистость. Вертикальные фрагменты, прокрашенные гидратированными окислами железа. Переход резкий по цвету.
BC	$\frac{111-130}{19}$	Белесый, рыхлый, влажный до сырого, слоистый песок.

Почва – аллювиально-дерновая песчаная.

Распределение органического вещества в профиле почвы разреза 20 показано на рисунке 6.

Достаточно четко выделяется гумусово-аккумулятивный горизонт, мощность которого соответствует глубине распространения корневых систем большинства луговых трав. В нижележащем горизонте В органическое вещество образуется из находящихся там корней, поступает с нисходящими токами влаги, а также вследствие жизнедеятельности почвенных беспозвоночных. Глубже органическое вещество представлено подвижными формами, поступающими с нисходящим током почвенных растворов. В составе гумуса велика доля гуматов и

фульватов кальция, а содержание инертных фракций весьма низкое.

Аллювиальные почвы р. Преголи отличаются неоднородным гранулометрическим составом в верхнем и среднем течении реки. После впадения в нее р. Лавы в нижнем течении преобладают тяжелые почвы. Для последних характерно высокое содержание органического вещества при неполной его гумификации. Длительные периоды избыточного переувлажнения способствуют накоплению перегноя. В наиболее пониженных местах протекает торфообразование. Состав органического вещества преимущественно гуматный, в почве заметно преобладание инертных фракций гумуса. Распределение органического вещества в профиле характеризуется максимумом в верхнем горизонте, постепенным снижением содержания гумуса вниз по профилю, а также наличием вторичных максимумов в глуболежащих горизонтах.

Аллювиальные почвы на двучленных наносах отличаются относительно низким содержанием органического вещества. В верхней легкой части профиля содержание гумуса постепенно снижается, в более тяжелых нижних горизонтах оно практически постоянно до уровня грунтовых вод. Формы нахождения органического вещества в почве зависят от гранулометрического состава и водного режима. В верхних горизонтах преобладают гуматы кальция и одновалентных катионов при весьма незначительной доле инертного гумуса. В нижних суглинистых горизонтах в закреплении органического вещества закономерно возрастает роль минеральных коллоидов и глинистых частиц, что ведет к снижению относительного и абсолютного содержания подвижных гумусовых веществ.

На территории Неманской низменности распространены аллювиальные почвы, подстилаемые торфом. Формирование этих почв происходило уже в историческое время. Сведение лесов в Средние века привело к усилению весенних паводков, увеличению твердого стока и мощности отлагаемого наилка. За несколько столетий был сформирован слой аллювиальных

2.2. Особенности гумусного состояния почв пастбищ и сенокосов

наносов мощностью в несколько дециметров. Процессы накопления аллювия и почвообразования шли одновременно. Современный облик эти почвы приобрели около ста лет назад – после того, как сток Немана был зарегулирован, большая часть поймы была ограждена дамбами, а естественная растительность, представленная преимущественно черноольховыми лесами, сменилась пастбищами и сенокосами. Органическое вещество этих почв, сформированное в условиях постоянного переувлажнения, имеет сходство с гумусом дерново-глеевых почв (табл. 12).

Несмотря на интенсивное накопление гумуса в верхнем горизонте, подвижность органического вещества здесь довольно высока. Негидролизуемое органическое вещество составляет около 1/3 от общего количества, а суммарное содержание инертного гумуса – чуть меньше половины. В составе подвижного гумуса преобладают бурые гуминовые кислоты (ГК 1), так как щелочноземельные основания связываются преимущественно фульвокислотами. В целом состав гумуса близок к оптимальному для полугидроморфных почв лугопастбищных угодий.

Количество и состав органического вещества в почвах под сенокосами и пастбищами изменяются в весьма широких пределах. Показатели гумусного состояния почв нормального увлажнения под сенокосами и пастбищами в середине 90-х гг. были близки к характеристикам органического вещества пахотных почв. В последнее десятилетие отмечается заметное накопление гумуса, что связано с уменьшением доли отчуждаемой первичной продукции. Гумусное состояние аллювиальных почв определяется их гранулометрическим составом и водным режимом. Это справедливо и для органического вещества дерновых почв. При сохранении нынешней относительно низкой антропогенной нагрузки или дальнейшем снижении интенсивности эксплуатации лугопастбищных угодий содержание органического вещества в дерново-подзолистых или дерновых почвах некоторое время будет возрастать.

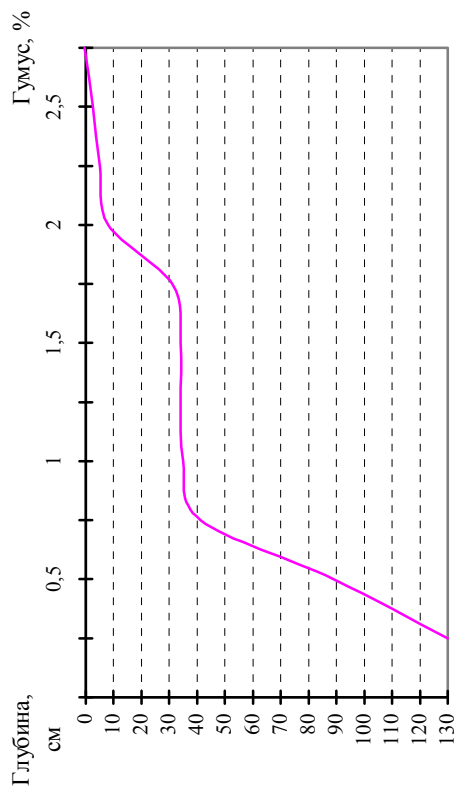


Рис. 6. Распределение органического вещества в профиле аллювиально-дерновой почвы

Таблица 12

Фракционный состав гумуса дерновой легкосуглинистой почвы

C _{орг} , %	C _{ткс} % от C _{орг}			C _{фкс} % от C _{орг}			C _{стк} / C _{фк}	Негидролизующий остаток			
	1	2	3	1а	1	2			3		
5,6	26,4	0,7	4,3	31,4	4,3	2,5	17,5	11,1	35,4	0,89	33,2

2.2. Особенности гумусного состояния почв пастбищ и сенокосов

Состав гумуса при этом будет изменяться в сторону увеличения содержания подвижных фракций. При интенсификации использования лугопастбищных угодий возможно снижение гумусированности на фоне роста относительной доли инертного гумуса. В этом случае меры по оптимизации гумусного состояния должны быть направлены на стимулирование продуктивности фитоценоза и улучшение водно-воздушного режима.

2.3. Гумусное состояние почв пашни

Гумусное состояние пахотных угодий до периода интенсивной химизации

Несмотря на интенсивное сельскохозяйственное производство и относительно высокий уровень развития агрохимической науки в Восточной Пруссии систематические исследования почвенного органического вещества не проводились. После окончания войны в 1949 – 1952 гг. была организована комплексная экспедиция АН СССР по Калининградской области, в задачи которой входило: исследование почвенного покрова и составление почвенной карты; изучение агромелиоративных свойств почв и разработка на этой основе агротехнических и агромелиоративных мероприятий; агрохимическое исследование почв и составление картограмм их свойств, выявление эффективности внесения удобрений под сельскохозяйственные культуры, а также потребности почв в известковании и разработка рекомендаций по применению удобрений и извести; исследование флоры, составление карты растительности, разработка мероприятий по повышению продуктивности лесов, садов и лугов [Церлинг, 1959].

Исследование содержания, состава и запасов органического вещества проводились как почвенным отрядом под руководством профессора А.А. Завалишина, так и агрохимическим отрядом под руководством доктора сельскохозяй-

ственных наук И.Г. Важенина. Несмотря на некоторое отличие используемых в то время методов анализа от современных, полученные результаты дают вполне адекватное представление о гумусном состоянии наиболее распространенных почв региона.

Исследователями было отмечено значительное снижение содержания гумуса в пахотных дерново-подзолистых почвах по сравнению с аналогичными почвами под лесом (табл. 13).

Таблица 13

Распределение гумуса по профилю дерново-подзолистых почв под лесом и пашней [Важенин, Белякова, 1959]

Горизонт	A ₁ и A _{пах}	A ₂	B ₁	B ₂	BC
Лесные почвы	5,96 ± 0,72	1,23 ± 0,10	0,76 ± 0,08	0,43 ± 0,05	0,33 ± 0,03
Пахотные почвы	2,42 ± 0,18	0,97 ± 0,09	0,69 ± 0,08	0,39 ± 0,03	0,31 ± 0,03

Авторы [Важенин, Белякова, 1959] объясняют меньшее содержание гумуса в окультуренных почвах отрицательным балансом органического вещества, то есть превышением скорости минерализации гумуса над гумификацией. Однако проведенные в Центральной России исследования дерново-подзолистых пахотных почв [Зайдельман, 1998] показали, что горизонты A₂B (B₁) пахотных и целинных почв практически не различаются по запасам органического вещества.

Дегумификацию иллювиальных горизонтов, по нашему мнению, можно объяснить двумя факторами: длительным (несколько столетий) использованием под пашню современных пахотных угодий и высокой подвижностью органического вещества в почвах региона. Установлено [Важенин, Белякова, 1959], что окультуривание легких дерново-подзолистых почв ведет к возрастанию относительного содержания растворимых фракций гумуса. В тяжелых почвах подвижность гумуса при длительном окультурировании не-

сколько снижается. В иллювиальных горизонтах дерново-подзолистых почв присутствует не только образованный на месте гумус, но и вымытый из верхней части почвенного профиля, причем доля вымываемого гумуса обратно пропорциональна содержанию тонкопылеватых и илистых частиц. Сокращение поступления свежих растительных остатков ведет к снижению количества мигрирующего в горизонты В гумуса, в то время как скорость его минерализации остается почти неизменной. Следствием этого является выраженная гумификация не только пахотного горизонта, но и глубже лежащей части почвенного профиля.

Другой отличительной чертой пахотных почв в целом является значительное различие уровня достигнутого плодородия. Причиной этого стала существенная разница в специализации отдельных хозяйств Восточной Пруссии, различный ассортимент возделываемых культур и объемы применения навоза и минеральных удобрений. За последующие полвека эти различия были сnivelированы. Тем не менее различия в количестве и составе почвенного органического вещества, связанные с почвообразующими породами, гранулометрическим составом, водным режимом и некоторыми другими относительно консервативными свойствами сохранились и в последующем.

Исследование фракционного состава органического вещества выявило наличие региональной специфики не только в почвах под лесом, но и в пахотных почвах, а также связь гумусного состояния с гранулометрическим составом и режимом увлажнения. Состав гумуса тяжелой пахотной почвы, испытывавшей кратковременное избыточное увлажнение, показан в таблице 14.

Заметно относительно узкое отношение $C_{гк} : C_{фк}$, что свидетельствует о трудности окультуривания тяжелых дерново-подзолистых почв. Вместе с тем использование почвы под пашню снижает долю инертного органического вещества, составляющую в пахотной почве 51,8%, а в аналогичной по грануломет-

рическому составу лесной почве – около 60%. Среди гуминовых кислот половину составляют свободные и рыхлосвязанные гуминовые кислоты, тогда как доля гуматов щелочноземельных оснований вдвое меньше. Гораздо активнее идет связывание кальция фульвокислотами. Сумма фракций, связанных со щелочноземельными основаниями, составляет 17,7%, что гораздо выше, чем в аналогичных лесных почвах и почвах суходольных лугов. Это, несомненно, является следствием окультуривания.

Почвы на валунных ледниковых суглинках вследствие более благоприятного теплового и водного режима гораздо легче поддаются окультуриванию, что находит отражение в количестве и составе почвенного органического вещества. Анализ параметров гумусного состояния пахотного горизонта типичной дерново-остаточно-среднеподзолистой суглинистой почвы на моренном суглинке показал, что при относительно высоком содержании общего органического углерода – 2,1% от веса почвы – отношение $C_{тк} : C_{фк}$, являющееся количественной характеристикой глубины гумификации [Орлов, 1974; Орлов, Бирюкова, 1984], расширяется до 0,77. Содержание инертных фракций гумуса существенно не отличается от аналогичных показателей тяжелой почвы. Среди гуминовых кислот превалирует прочно связанная с полуторными окислами фракция (10,2% от органического углерода), содержание свободных гуминовых кислот несколько ниже – 8% от $C_{орг}$. Аналогичные закономерности прослеживаются и во фракционном составе фульвокислот.

Для почв более легкого гранулометрического состава отличия в составе и количестве гумуса от почв Центральной и Северо-Западной России весьма существенны. Кроме того, именно на легких почвах результаты антропогенного воздействия проявляются особенно ярко (табл. 15).

Таблица 14

**Групповой и фракционный состав гумуса горизонта $A_{\text{пах}}$
дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы на глине [Барановская, 1952]**

$C_{\text{орг}}, \%$	$C_{\text{гк}}, \% \text{ к } C_{\text{орг}}$						$C_{\text{фк}}, \% \text{ к } C_{\text{орг}}$						Гидроли- зуемая 1н. H_2SO_4	Негидро- лизуемый остаток	$\frac{C_{\text{гк}}}{C_{\text{фк}}}$
	1		2		3		1а		2		3				
	1	2	3	Сумма	1а	1	2	3	Сумма						
1,4	8,65	4,25	4,4	17,3	1,5	6,15	13,45	9,8	30,9	11,35	40,45	0,56			

Таблица 15

**Групповой и фракционный состав органического вещества пахотных почв
легкого гранулометрического состава [Барановская, 1952]**

№ раз- реза	Гори- зонг	$C_{\text{орг}}, \%$	$C_{\text{гк}}, \% \text{ к } C_{\text{орг}}$						$C_{\text{фк}}, \% \text{ к } C_{\text{орг}}$						Негидро- лизуемый остаток	$\frac{C_{\text{гк}}}{C_{\text{фк}}}$
			1		2		3		1а		2		3			
			1	2	3	Сумма	1а	1	2	3	Сумма					
24	$A_{\text{пах}}$	2,1	15,3	1,3	4,3	20,9	7,5	13,9	11,1	10,0	42,5	36,6	0,49			
1242	$A_{\text{пах}}$	2,65	33,6	0,0	12,1	45,7	6,1	8,2	0,0	2,3	16,6	37,9	2,72			
	Bh	2,5	28,9	0,0	0,0	28,9	36,1	10,0	0,0	0,0	46,1	25,0	0,63			
1288	$A_{\text{пах}}$	4,5	12,0	3,2	20,4	35,6	3,0	7,5	3,0	0,1	13,6	50,8	2,62			
	Bh	2,7	19,0	0,0	18,2	37,2	4,7	4,0	4,4	9,1	22,2	40,6	1,68			

Примечание. Почва в разрезе:

24 – дерновая остаточно-подзолистая легкосуглинистая на глине;

1242 – окультуренная остаточно-подзолистая гумусо-иллювиальная на песке;

1288 – дерново-глеевая тонкопесчаная на песке.

Почвы на двучленных отложениях характеризуются весьма низким отношением $C_{тк} : C_{фк}$. По-видимому, это связано с кратковременным переувлажнением и застойно-промывным водным режимом таких почв, что, по мнению Ф.Р. Зайдельмана (1998), ведет к увеличению содержания фульвокислот и песчаных низкомолекулярных органических соединений. Некоторое снижение отношения $C_{тк} : C_{фк}$ отмечено на двучленных отложениях с кратковременным избыточным увлажнением бурых лесных почв [Анциферова, 2002].

Содержание и состав органического вещества легких пахотных почв нормального и кратковременного избыточного увлажнения характеризуются очень широким отношением $C_{тк} : C_{фк}$, высоким содержанием гуминовых кислот в пахотном горизонте, большей растянутостью иллювиально-гумусового горизонта по профилю и меньшим содержанием органического вещества в нем, на что влияют климатические условия, благоприятствующие процессам гумификации. Для окультуренных легких почв свойственна темная окраска и выраженное преобладание гуминовых кислот. Распашка гумусо-иллювиальных почв ведет к изменению состава источников органического вещества, а также водно-воздушного режима, следствием чего является усиление процессов гумификации. Запасы органического вещества в метровом слое в тяжелых глинистых и суглинистых почвах составляют 110 – 115 т/га, что вполне сравнимо с окультуренными дерново-подзолистыми почвами Ленинградской области [Чернов, Кириллова, 1996]. Легкосуглинистая почва на глине обладала несколько большим запасом органического вещества – 126 т/га. В песчаных окультуренных почвах запасы гумуса в 2 – 4 раза превышают аналогичный показатель для зональных окультуренных почв южной тайги.

Таким образом, пахотные почвы Калининградской области весьма различались по основным параметрам гумусного состояния. Причинами различий кроме естественных факторов – гранулометрического состава, режима увлажнения и

глубины залегания карбонатов – являются также длительность и интенсивность антропогенного воздействия. Наряду со слабокультурными почвами, близкими по параметрам гумусного состояния к дерново-подзолистым освоенным почвам, в области были созданы культурные почвы, содержание и запасы органического вещества в которых несравнимы с естественными.

Изменение гумусного состояния пахотных почв области в период интенсивной химизации

В 50 – 60-е гг. XX в. прошлого века урожайность основных культур, возделываемых в Калининградской области, была несколько ниже довоенного уровня. Объем применения органических удобрений в среднем составлял около 3 т/га пашни в год. Такой уровень антропогенного воздействия на почвы пахотных угодий не мог привести к значительному изменению параметров гумусного состояния пахотных почв.

С начала 70-х гг. объем применения органических удобрений существенно увеличился. Параллельно возросла общая интенсивность воздействия на эффективное плодородие почв: дозы известковых мелиорантов, объемы известкования, фосфоритования и внесения минеральных удобрений. На фоне обусловленной относительно высоким природно-климатическим потенциалом биологической активности изменялись и запасы органического вещества в пахотном горизонте (табл. 16).

Таким образом, увеличение объемов применения органических удобрений на фоне вызванного общей интенсификацией сельскохозяйственного производства роста урожайности (а следовательно, и количества источников гумификации – пожнивно-корневых остатков) привело к заметному возрастанию содержания органического вещества в пахотном горизонте. Распределение пахотных почв по категориям обеспеченности гумусом представлено в таблице 17.

Таблица 16

**Среднегодовой уровень применения удобрений на пашне
и содержание гумуса в пахотном горизонте**

Показатель	Годы					
	1966 – 1970	1971 – 1975	1976 – 1980	1981 – 1985	1986 – 1990	1991 – 1995
Минеральные удобрения, кг д.в./га	110	175	202	217	209	89
Органические удобрения, т/га	3,9	4,6	6,1	7,7	7,1	4,0
Содержание гумуса, %	Не определено	Не определено	2,56	2,70	2,70	2,76

Таблица 17

**Распределение пахотных почв по группам
обеспеченности гумусом за период 1976 – 1995, %
[Панасин, Слобожанинова, Новикова, 1997]**

Год обследования	Распределение по группам обеспеченности			
	Менее 2,0	2,1 – 3,0	3,1 – 4,0	Более 4,0
1976 – 1981	37,3	42,0	12,5	8,2
1982 – 1987	18,5	56,5	17,5	7,5
1988 – 1993	21,7	51,8	19,0	7,5
На 01.01.1996	18,7	53,4	20,3	7,6

Из данных таблицы 17 видно, что содержание органического вещества в пахотных почвах увеличивалось весьма неравномерно. Если в середине 80-х гг. XX в. доля низкообеспеченных гумусом почв сократилась вдвое, то в последующие годы наметилась тенденция к росту доли малогумусных почв. В то же время доля почв с содержанием гумуса более 3% воз-

росла. Здесь находят отражение два разных подхода к проблеме баланса органического вещества в пахотных почвах. Если в 70-е и первую половину 80-х гг. на низкогумусных малоплодородных полях старались проводить комплекс мероприятий по окультуриванию, в том числе и создание положительного баланса гумуса, то с конца 80-х гг. средства химизации и органических удобрений на обоснованном уровне применялись лишь в экономически сильных хозяйствах. В большинстве сельхозпредприятий объем применения органических удобрений определялся возможностью хозяйства и конъюнктурой, а не необходимостью поддержания бездефицитного баланса органического вещества. Указанные тенденции усилились начиная с 90-х гг. XX в. Это привело к существенной дифференциации параметров гумусного состояния пахотных почв.

*Гумусное состояние пахотных почв
разной окультуренности*

Средневзвешенное значение содержания органического вещества в пересчете на гумус в пахотных почвах Калининградской области на 01.01.2004 составляет 2,63%. Параметры группового и фракционного состава представлены в таблице 18.

Приведенные данные свидетельствуют, что количество и состав органического вещества пахотных почв весьма далеки от оптимальных. В пахотных почвах на формирование гумусовых веществ кроме природных факторов оказывают влияние также набор культур в севообороте, виды и дозы применяемых органических и минеральных удобрений, агротехнические приемы обработки почв. Неодинаковость воздействия вышеперечисленных факторов создает значительную пестроту показателей гумусного состояния почвы, которая проявляется не только в разных районах и хозяйствах, но даже в пределах одного поля.

Тем более существенны эти различия для почв, по-разному использовавшихся в последние 10 – 12 лет. Благодаря обеспечивающему длительный период биологической активности мягкому климату процессы гумификации, минерализации, а также перестройки макромолекул гумусовых веществ в почвах нашего региона протекают гораздо интенсивнее, чем в почвах Северо-Запада и Центра России. Другой особенностью, вызванной ярко выраженным промывным водным режимом большинства пахотных почв области, является распространение изменений гумусного состояния не только на пахотный, но и на нижележащие горизонты почвенного профиля.

Нами было исследовано гумусное состояние ряда дерново-подзолистых суглинистых бескарбонатных или глубоковыщелоченных пахотных почв разной окультуренности. Фракционный состав почвенного органического вещества определялся не только в пахотном горизонте, но и во всей гумусированной части профиля. Содержание и состав почвенного органического вещества хорошо окультуренной почвы представлены в таблице 19.

Рассматриваемая почва характеризуется мощным (до 50 см) гумусовым профилем, повышенным содержанием органического вещества в пахотном и подпахотном горизонтах, нейтральной реакцией почвенного раствора. Анализ данных таблицы 19 свидетельствует, что процессы внутрипрофильной миграции органического вещества играют подчиненную роль. На это указывает низкий процент свободных фракций гумуса и относительно высокая для почв Калининградской области доля инертных гумусовых веществ – гуминов и третьей фракции гуминовых кислот. Максимальное содержание инертного гумуса характерно для переходного к иллювиальному горизонту. Там, где скорость минерализации органического вещества ниже, чем в верхней части профиля, происходит накопление наиболее устойчивых термодинамически зрелых молекул гумусовых веществ.

Признаком высокой окультуренности почвы является преобладание второй фракции гуминовых кислот – главным образом гуматов кальция – над фракцией свободных и рыхлосвязанных гуминовых кислот – ГК1, что нехарактерно ни для целинных дерново-подзолистых почв, ни для их освоенных и слабоокультуренных аналогов. В слабоокультуренных почвах гуматы кальция сосредоточены преимущественно в пахотном горизонте, ниже их содержание, как и общее количество гуминовых кислот, резко снижается. В агроземах Северо-Запада, как и в рассматриваемой почве, в пахотном горизонте преобладает третья фракция прочно фиксированных гуминовых кислот, однако в отличие от высококультуренных почв Ленинградской области эта фракция преобладает во всей гумусированной части профиля [Бахматова, 1996].

Распределение фульвокислот в верхних горизонтах профиля также имеет отличия от лесных и слабоокультуренных дерново-подзолистых почв. Содержание кислоторастворимой группы неспецифических низкомолекулярных соединений, а также креновых кислот в пахотном горизонте весьма незначительно, вниз по профилю оно медленно возрастает, но остается гораздо ниже, чем в целинных почвах. В целом преобладает третья фракция фульвокислот, доля которых увеличивается вниз по профилю. Содержание второй фракции фульвокислот по всему гумусовому профилю выше, чем первой. В подпахотном горизонте отмечается относительный минимум содержания второй и максимум – первой фракции фульвокислот.

Отношение $C_{гк} : C_{фк}$ в пахотном горизонте гораздо выше, чем в среднем по пахотным почвам. Основное отличие по распределению групп гумусовых веществ в профиле – плавное снижение $C_{гк} : C_{фк}$ в переходном к иллювиальному горизонте. Для дерново-подзолистых целинных и освоенных почв напротив, характерно, резкое снижение отношения $C_{гк} : C_{фк}$, редко составляющее более 0,5 в подпахотном и нижележа-

щих горизонтах. В целом для хорошо окультуренных почв характерно повышенное содержание инертного гумуса, доля которого возрастает с глубиной. В культурных почвах, длительное время использовавшихся в овощных севооборотах, отмеченные закономерности в целом сохраняются, хотя доля инертного гумуса несколько выше, а гуматов кальция ниже. Соотношение $C_{гк} : C_{фк}$ в пахотном горизонте достигает 1,4, в более глубоких горизонтах оно не отличается от рассмотренного выше примера.

К сожалению, пахотные почвы с такими показателями гумусного состояния встречаются в Калининградской области нечасто. Большинство пахотных почв относятся к среднеокультуренным. Часть среднеокультуренных почв имеет большинство показателей плодородия в этой градации, другая – входит в эту группу по одному – двум лимитирующим параметрам. Гумусное состояние среднеокультуренных почв изменяется в весьма широких пределах. Полностью охарактеризовать его только средними величинами по ряду разрезов невозможно, тем не менее ряд закономерностей установить можно. Примером среднеокультуренной почвы может служить дерново-слабоподзолистая почва опытного поля АО им. Кирова (табл. 20).

Содержание органического вещества здесь существенно ниже, чем в хорошоокультуренных почвах, но выше, чем в почвах под вторичными лесами и слабоокультуренными почвами. Как и в хорошоокультуренных почвах, в составе гуминовых кислот в среднеокультуренной почве преобладает фракция, прочно связанная с минеральной частью почвы. Доля гуматов кальция выше, чем для типичных дерново-подзолистых почв, однако отношение $C_{гк1}$ к $C_{гк2}$ больше единицы. В составе гуминовых кислот накопление первой фракции отмечается в пахотном горизонте, а третьей – в нижней части гумусово-аккумулятивного профиля.

Таблица 18

**Групповой и фракционный состав
пахотных дерново-подзолистых почв Калининградской области**

С _{орг} , %	С _{гк} , % к С _{орг}			С _{фк} , % к С _{орг}			Негидро- лизуемый остаток	С _{гк} С _{фк}			
	1	2	3	Сумма	1a	1			2	3	Сумма
1,65	10,3 ± 0,6	4,5 ± 0,6	11,6 ± 0,9	26,4 ± 2,1	5,5 ± 0,6	12,3 ± 1,3	5,5 ± 0,9	11,8 ± 4,2	11,8 ± 4,2	38,5 ± 3,3	0,75

Таблица 19

**Групповой и фракционный состав органического вещества хорошеокультуренной
дерново-подзолистой супесчаной почвы**

Гори- зонТ	С _{орг} , %	С _{гк} , % к С _{орг}			С _{фк} , % к С _{орг}			Негидро- лизуемый остаток	С _{гк} С _{фк}		
		1	2	3	Сумма	1a	1			2	3
А _{пах}	2,20	7,6	7,9	15,6	31,1	4,3	3,7	10,5	13,3	31,8	0,98
А ₁	2,19	7,0	10,0	16,4	33,4	4,8	5,2	7,9	14,8	32,7	1,02
AB	1,65	4,5	8,6	12,4	25,5	5,2	3,4	9,5	16,8	34,9	0,73

Таблица 20

**Содержание, групповой и фракционный состав гумуса
дерново-слабоподзолистой легкоуглинистой среднесуглинистой почвы**

Гори- зонТ	С _{орг} , %	С _{гк} , % к С _{орг}			С _{фк} , % к С _{орг}			Негидро- лизуемый остаток	С _{гк} С _{фк}		
		1	2	3	Сумма	1a	1			2	3
А _{пах}	1,26	14,0	8,6	14,1	36,7	4,1	6,5	5,5	14,0	30,1	1,21
А ₁	1,28	13,0	9,8	15,6	38,4	5,1	5,0	10,9	10,0	31,0	1,24
AB	1,20	12,9	7,5	15,8	36,2	5,1	5,1	7,4	8,0	25,6	1,41

В распределении второй фракции гуминовых кислот проявляется ранее отмеченная закономерность – максимальное их содержание отмечается в подпахотном горизонте. Количество кислоторастворимых органических веществ в пахотном горизонте низкое, глубже оно незначительно возрастает. Максимальное содержание второй фракции фульвокислот наблюдается в подпахотном горизонте, что свидетельствует о миграции катионов щелочноземельных оснований в почвенном профиле.

Относительное и абсолютное содержание третьей фракции фульвокислот вниз по профилю уменьшается, хотя количество прочно фиксированных гуминовых кислот (ГК 3) в этом направлении возрастает, что свидетельствует о более зрелом характере гумусовых веществ в подпахотных горизонтах. В целом почва характеризуется широким отношением $C_{тк}$ к $C_{фк}$ и относительно невысоким содержанием негидролизуемого остатка, что указывает на создание достаточно благоприятных условий гумусообразования, приводящих к накоплению агрономически ценных гумусовых веществ.

Гумусное состояние дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почвы сортоучастка «Ушаковский» близко к описанной выше легкосуглинистой разновидности среднеокультуренной почвы (табл. 21).

Общее содержание органического вещества здесь несколько ниже, чем в вышеописанной легкосуглинистой почве. По видимому, здесь при высокой насыщенности севооборотов овощными культурами в течение довольно длительного времени складывался отрицательный баланс органического вещества. Содержание подвижных фракций гумусовых веществ сравнимо с легкосуглинистой почвой АО им. Кирова, причем, как и в предыдущем случае, содержание свободных гуминовых кислот выше, чем гуматов кальция. Негидролизуемый остаток в относительном выражении больше, что может быть связано как с гранулометрическим составом, так и с большой массой вносимых органических удобрений.

Слабоокультуренные пахотные почвы занимают относительно небольшие площади. В основном в эту категорию попадают почвы, находящиеся в залежи или не использовавшиеся в течение нескольких лет. Среди слабоокультуренных полей встречаются участки с нарушенной работой мелиоративной системы и поля хозяйств, резко снизивших уровень общей культуры земледелия. Большинство слабоокультуренных почв относятся к этой категории по одному – двум, реже трем показателям почвенного плодородия, наименее устойчивым к деградации. Примером слабоокультуренной почвы может служить следующий разрез: почва слабокислая в пахотном горизонте, глубже кислая, содержание подвижного P_2O_5 низкое (28 – 32 мг/кг почвы). Состав и количество органического вещества в пахотном и нижележащих горизонтах представлено в таблице 22.

На момент отбора образцов описываемый участок являлся залежью. По сравнению как с лесной почвой, так и с хорошо- и среднеокультуренной пахотной содержание общего органического вещества здесь ниже. Просматриваются некоторые особенности и в его составе. Количество негидролизованного остатка, которое В.К. Пестряков (1977) считает показателем окультуренности дерново-подзолистых почв, в пахотном горизонте выше, чем в A_1 лесной почвы аналогичного гранулометрического состава, а в горизонте A_1A_2 – ниже. По нашему мнению, тесная связь этой величины с гранулометрическим составом не позволяет использовать ее в качестве критерия окультуренности дерново-подзолистых почв, по крайней мере, в нашем регионе.

Относительное содержание гуминовых кислот (около 30% от общего углерода) сравнимо с верхними горизонтами лесных суглинистых почв, а также окультуренных пахотных. В подпахотном горизонте отмечается максимум содержания прочно связанных гуминовых кислот и негидролизованного органического вещества, что, вероятно, связано с переуплотнением подпахотного горизонта под воздействием почвообрабатывающей техники.

Таблица 21

**Групповой и фракционный состав гумуса
дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой среднекультуртуренной почвы**

Гори- зонг	С _{орг.з} %	С _{гк} , % к С _{орг}			С _{фк} , % к С _{орг}			Негидро- лизуемый остаток	$\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$			
		1	2	3	1a	1	2			3		
		Сумма			Сумма							
A _{пах}	1,35	13,0	4,5	17,3	34,8	4,1	5,9	7,2	7,5	24,7	40,5	1,41
A ₁	0,72	11,1	7,3	14,6	33,0	9,5	10,6	2,9	8,0	31,0	36,0	1,06
AB	0,68	7,5	2,0	15,1	24,6	5,3	4,8	15,4	5,8	31,3	44,1	0,79

Таблица 22

**Групповой и фракционный состав гумуса
дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой слабокультуртуренной почвы**

Гори- зонг	С _{орг.з} %	С _{гк} , % к С _{орг}			С _{фк} , % к С _{орг}			Негидро- лизуемый остаток	$\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$			
		1	2	3	1a	1	2			3		
		Сумма			Сумма							
A _{пах}	1,20	11,3	6,8	11,1	29,2	7,0	14,4	0,9	10,0	32,3	38,5	0,90
A ₁	0,73	6,2	10,1	14,4	30,7	12,3	5,8	4,2	6,2	28,5	40,8	1,08
AB	0,73	8,0	9,3	12,4	29,7	6,4	3,5	15,8	12,5	38,2	32,1	0,78

Здесь же отмечается максимальное содержание второй фракции гуминовых кислот, тогда как доля свободных гуминовых кислот минимальна. По-видимому, это связано с миграцией гуматов вниз по почвенному профилю, о чем также свидетельствует увеличение содержания кальция и магния в подпахотном горизонте.

Иная картина наблюдается с фульвокислотами. В целом их доля немного выше, чем в ранее рассмотренных хорошо- и среднеокультуренных почвах. В пахотном горизонте преобладает легкоподвижная первая фракция фульвокислот, а в подпахотном – неспецифические низкомолекулярные соединения, а также креновые кислоты. Содержание второй фракции фульвокислот в пахотном горизонте очень низкое, а на глубине 30 – 40 см эта фракция является преобладающей. Это может быть связано как с накоплением более устойчивых органических веществ в нижней части гумусово-аккумулятивного горизонта, так и с более быстрым вымыванием фульватов благодаря их большей подвижности. В целом содержание агрессивных фульвокислот в верхней части почвенного профиля выше, чем в лесной почве, и значительно превосходит более окультуренные варианты, что свидетельствует о процессе деградации почвы [Анциферова, 2000].

Показатель глубины гумификации – отношение $C_{гк} : C_{фк}$ – в пахотном горизонте рассматриваемой почвы выше, чем в лесной, но ниже, чем в подпахотном горизонте, что является следствием относительно недавнего прекращения антропогенного воздействия на почвообразовательный процесс.

Особенности гумусного состояния пахотных почв различного гранулометрического состава

Наряду с совокупностью антропогенно обусловленных фактов почвообразования, наиболее заметно проявляющихся в пахотных почвах, на содержание, состав и распределение органического вещества в почвенном профиле оказывает влияние и комплекс свойств, унаследованных от естественных

почв. К числу наиболее консервативных свойств почвы, претерпевающих минимальное изменение в процессе окультуривания, относится гранулометрический состав. Если в пахотном горизонте гранулометрический состав в некоторых почвах изменен пескованием или глинованием, то в глубже лежащих горизонтах он полностью сохраняется.

Гумусное состояние пахотной почвы определяется не каким-либо единственным фактором или процессом, а интегральным воздействием всех действующих в данном месте факторов почвообразования. Поэтому представляется достаточно сложным выявить влияние какого-либо одного фактора на процессы гумусообразования. Тем не менее содержание органического вещества и распределение его по генетическим горизонтам почвенного профиля заметно отличается на почвах различного гранулометрического состава.

Распространение почв различного гранулометрического состава на территории Калининградской области описано в главе 1. В пределах конечно-моренного геоморфологического района достаточно большие площади занимают легкие почвы. Формирование гумусового профиля здесь происходит при практически свободной вертикальной миграции почвенных растворов до грунтовых вод или водоупорных горизонтов. Благодаря низкой емкости обмена минеральных частиц легкие почвы хорошо отзываются на окультуривание, но и при недостаточном содержании органического вещества быстро теряют запасы элементов питания.

Супесчаные почвы часто формируются на двучленных отложениях. Верхняя толща наноса легкого гранулометрического состава в таких случаях полностью вовлекается в почвообразование. Режим увлажнения зависит от глубины залегания водоупорного горизонта и эффективности работы мелиоративных систем. Приведем примеры гумусного состояния двух супесчаных почв на двучленных отложениях, отличающихся по окультуренности и текущему сельскохозяйственному использованию.

Разрез 6. Зеленоградский район. АО «Шатровское».
Пологий склон холма. Залежь

Ад	$\frac{0-4}{4}$	Дернина серого цвета, густо пронизана корнями растений, рыхлая, влажная. Переход постепенный.
A ₁	$\frac{4-26}{22}$	Серый, супесчаный, рыхлый, влажный. Структура непрочнокомковатая. Обильные корни растений, ходы червей. Включения гальки диаметром до 10 см. Переход ясный по плотности.
AB	$\frac{26-49}{23}$	Серо-коричневый, уплотненный, супесчаный, бесструктурный. В нижней части встречаются ржавые пятна. Влажный. Встречаются корни растений, ходы червей. Переход постепенный по цвету и плотности.
Bg	$\frac{49-72}{22}$	Светло-серый с сизоватым оттенком, песчаный, бесструктурный. Множество ржавых пятен гидратированной окиси железа. Встречаются корни растений, ходы червей, по которым прослеживаются затеки гумуса. Сырой. Наблюдаются включения гальки. Переход постепенный по цвету и гранулометрическому составу.
BCg	$\frac{72-115}{43}$	Коричневая супесь с затеками ржаво-коричневого цвета. Рыхлый, бесструктурный, мокрый. Единичные корни, отчетливые признаки оглеения в виде сизых пятен. Включения гальки разного диаметра. Переход резкий по гранулометрическому составу.
Dg	$\frac{115-150}{35}$	Подстилающая порода – коричневый с сизыми пятнами тяжелый суглинок, плотный, мокрый. Вскипания от HCl по всему профилю нет.

Почва – дерново-слабоподзолистая глееватая супесчаная на моренной супеси, подстилаемой моренным суглинком.

Содержание органического вещества в гумусово-аккумулятивном горизонте относительно низкое – 1,8% в пересчете на гумус. Глубже содержание органического вещества постепенно снижается: – 1,05% в горизонте AB и 1,15% – в горизонте Bg. В переходном к породе горизонте BCg содержание гумуса составляет 0,6%. Таким образом, органи-

ческое вещество проникает до водоупорного горизонта подстилающей породы.

Гумификация растительных остатков в данной почве происходит в условиях кратковременного периодического переувлажнения и свободного оттока слабокислых почвенных растворов из верхней полуметровой толщи почвенного профиля. Препятствием к накоплению органического вещества в верхних горизонтах служит не только низкое содержание ила и минеральных коллоидов, но и ненасыщенность гумусово-аккумулятивного горизонта основаниями. В таких условиях образуются специфические гумусовые вещества преимущественно фульватного типа, а гуминовые кислоты представлены в основном первой фракцией (рис. 7).

Показатель глубины гумификации – отношение $C_{гк} : C_{фк}$ – составляет 0,61, что гораздо ниже среднего значения этого показателя для легких почв. В связывании гумусовых веществ ведущую роль играют полуторные окислы, главным образом железа и, возможно, алюминия. Участие катионов щелочноземельных металлов в стабилизации органического вещества невелико. Относительно низкая доля кислоторастворимой фракции в горизонте A_1 объясняется, по-видимому, интенсивной миграцией неспецифических органических соединений и свободных фульвокислот в нижележащие горизонты почвенного профиля. Глубокое проникновение гумусовых веществ в почвенный профиль вызвано как миграцией растворимых органических веществ в форме свободных гумусовых кислот и комплексно-гетерополярных солей главным образом с катионами железа, так и гумификацией корней и корневых выделений в горизонтах АВ и Вg, а также деятельностью почвенной фауны. В нижних горизонтах легкого кроющего наноса железо в комплексно-гетерополярных солях восстанавливается до двухвалентного, устойчивость железогумусовых соединений нарушается, и органические вещества остаются в горизонтах Вg и ВСg.

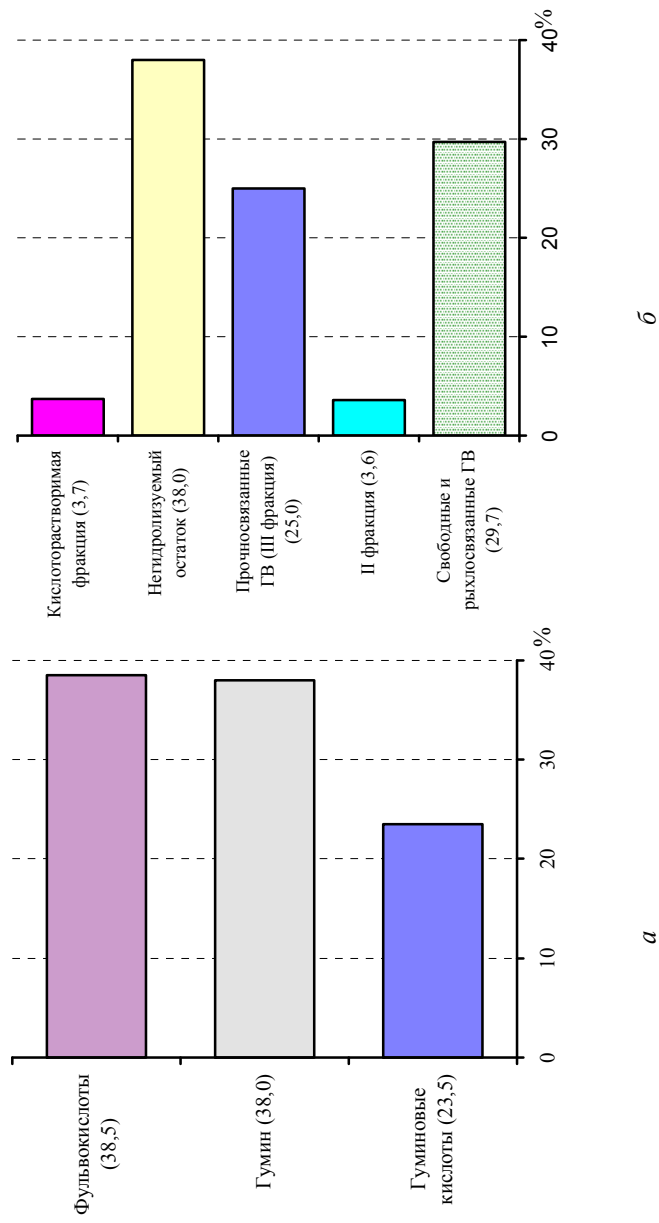


Рис. 7. Состав гумуса горизонта A_{max} разреза б:
а – групповой; *б* – фракционный

Окультуривание такой почвы должно включать в себя обязательное известкование. Учитывая большую мощность гумусированной части профиля и легкий гранулометрический состав, желательнее известковать не однократно большой дозой, а внести мелиорант в дозе по $2/3 - 3/4$ гидролитической кислотности, затем – через 2 – 3 года – произвести повторное известкование по остаточной гидролитической кислотности. Это поможет избежать потерь органического вещества вследствие ускоренной его минерализации при резком сдвиге рН в слабощелочную область. При постепенном насыщении почвенного поглощающего комплекса кальцием успеет пройти частичная перегруппировка гумусовых веществ из первой фракции во фракцию кальциевых солей, более устойчивую к минерализации и вымыванию.

Примером среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы на карбонатной морене тяжелого гранулометрического состава может служить почва разреза 11 (Полесский район, КФХ «Простор»).

Разрез 11. Плоская равнина. Пашня

$A_{\text{пах}}$	$\frac{0-25}{25}$	Пахотный горизонт темно-серого цвета, супесчаный, комковатой структуры, влажный, рыхлый. Густо пронизан корнями растений. Встречаются ходы червей, включения гальки. Переход резкий по цвету. Вскипания от HCl нет.
A_2B	$\frac{25-30}{5}$	Переходный горизонт палевого цвета, супесчаный, комковатой структуры, рыхлый, влажный. Попадаются единичные корни растений, включения гальки. Переход резкий по плотности и гранулометрическому составу. Вскипания от HCl нет.
Bg	$\frac{30-70}{40}$	Палевый с сизыми пятнами оглеения, среднесуглинистый, бесструктурный, сырой, плотный. Встречаются корни растений, ходы червей, скопления прокрашенного органическим веществом материала вдоль них, а также включения гальки. Переход постепенный. Вскипания от HCl нет.

C_{гк} 70 – 140 Светло-коричневый с сизыми пятнами оглеения,
70 тяжелосуглинистый, очень плотный, сырой. Наблю-
даются включения гальки и карбонатных конкреций.
Вскипание от HCl бурное.

Почва – дерново-слабоподзолистая глееватая супесчаная на мо-
ренном карбонатном суглинке.

Несмотря на близкое подстиление тяжелыми отложениями и более выраженные признаки гидроморфизма, содержание органического углерода в пахотном горизонте почвы разреза 11 (2,03% от почвы) значительно превышает содержание C_{орг} в горизонте A₁ разреза 6 (1,32%). По-видимому, основной статьей расхода органического вещества в почве разреза 11 является минерализация, тогда как миграция в нижележащие горизонты выражена очень слабо. Содержание органического вещества в пересчете на сумму составляет в горизонте A₂B лишь 0,5%, а в горизонте B_г – 0,55. Собственно гумусово-аккумулятивная часть профиля ограничивается лишь пахотным горизонтом, ниже содержание гумуса резко падает. В горизонтах A₂B и B_г находится органическое вещество, образующееся преимущественно на месте, хотя часть его может заноситься червями. Фракционный состав органического вещества пахотного горизонта имеют как черты сходства, так и отличия от гумуса почвы разреза (рис. 8).

Показатель глубины гумификации – отношение C_{гк} : C_{фк} – составляет 0,98. Это указывает на высокую окультуренность и благоприятные условия для гумификации. Тем не менее доля инертного гумуса здесь гораздо ниже, чем в пахотном горизонте почвы разреза 6. Возможно, это связано с сильным переувлажнением верхней части профиля, вследствие чего железо легко восстанавливается до двухвалентного, а в этой форме оно не способно коагулировать органические коллоиды и образовывать с гумусовыми кислотами комплексно-гетерополярные соли. В третьей фракции гумусовых веществ доля гуминовых кислот (15,8% от C_{орг}) почти втрое больше, чем фульвокислот (5,5%).

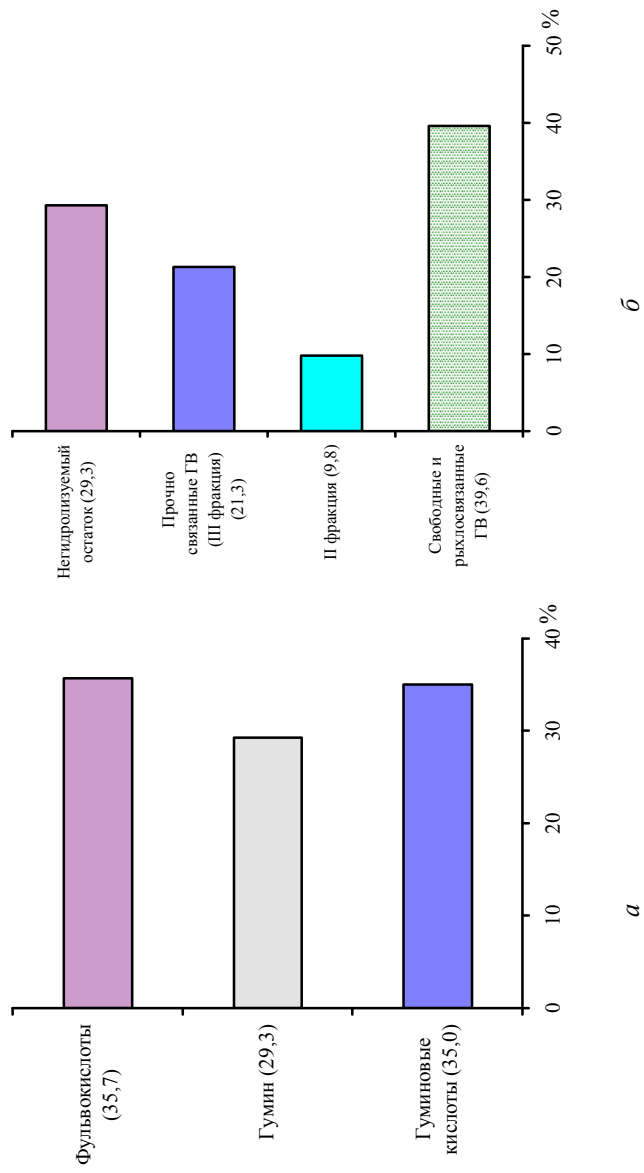


Рис. 8. Состав гумуса горизонта $A_{\text{чак}}$ разреза 11:
a – групповой; *б* – фракционный

Хорошая окультуренность верхнего горизонта при ослабленном выносе элементов питания, в том числе и щелочноземельных оснований, приводит к накоплению второй фракции гумусовых веществ. По сравнению с почвой разреза б доля второй фракции гораздо выше, причем в ее составе преобладают гуматы кальция. Однако, несмотря на это, доля свободных и рыхлосвязанных гуминовых кислот превышает количество гуматов щелочноземельных оснований. Среди первой фракции в отличие от второй и третьей явно выражено преобладание фульвокислот над гуминовыми кислотами.

Таким образом, для легких пахотных почв характерны относительно низкая доля инертного гумуса и преобладание фульвокислот в составе подвижных фракций. Другие характеристики гумусного состояния (отношение $C_{тк} : C_{фк}$, распределение органического вещества в профиле почв, относительное содержание второй и третьей фракции) зависят от общей окультуренности, особенностей режима увлажнения, глубины залегания карбонатов и других факторов. Усредненные показатели гумусного состояния пахотных почв представлены на рисунке 9 [Панасин, Рымаренко, Шарамова, 1999].

Легкосуглинистые почвы весьма распространены в Калининградской области. Как и среди супесчаных почв, здесь часто встречаются профили на двучленных отложениях. Легкосуглинистые почвы благодаря благоприятному тепловому режиму, относительно высокой водопроницаемости и большому содержанию элементов питания активно распахивались еще несколько столетий назад. Большинство легкосуглинистых почв имеет признаки антропогенного воздействия не только в пахотном, но и в более глубоких горизонтах почвенного профиля. Как и для супесчаных почв, для гумусового состояния пашни на легких суглинках характерна зависимость от режима увлажнения, общей окультуренности и ряда других факторов. В среднем легкосуглинистые почвы отличаются несколько большим запасом органического вещества в пахотном горизонте (2,0% по сравнению с 1,6% в пересчете на $C_{орг}$ к почве). Состав гумуса (рис. 10) также имеет свои отличительные особенности.



a

б

Рис. 9. Состав гумуса горизонта $A_{пах}$ пахотных почв Калининградской области, %:
a – групповой; *б* – фракционный

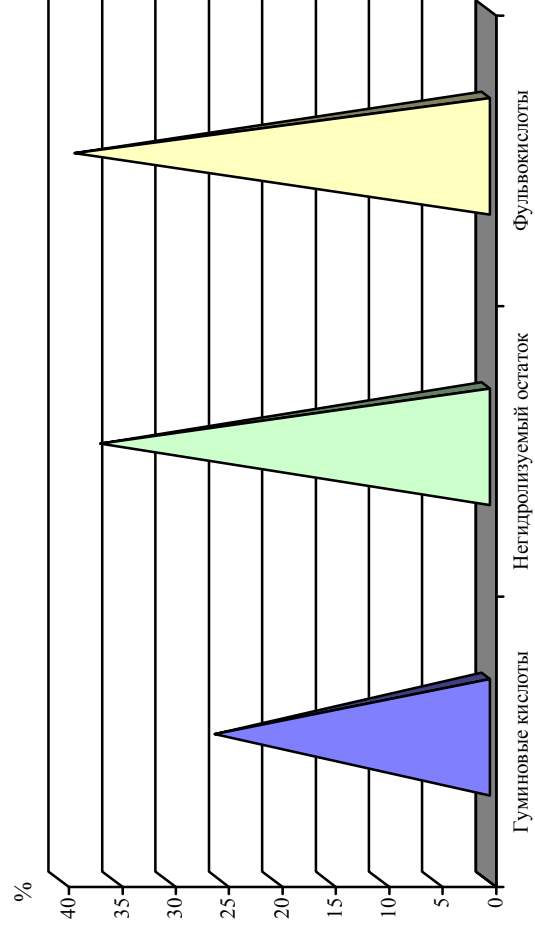


Рис. 10. Групповой состав гумуса пахотных легкоуглинистых почв

Доля консервативного, инертного гумуса значительно выше, чем в среднем по супесчаным почвам (36,1% в легкосуглинистых и 24,0% в супесчаных), вследствие более высокого содержания минеральных частиц илистой фракции, способных жестко связывать гумусовые вещества, в первую очередь гуминовых кислот. Переход части гуминовых кислот в прочные негидролизуемые органоминеральные соединения ведет к закономерному снижению относительного содержания гуминовых кислот и как следствие к снижению отношения $C_{тк} : C_{фк}$.

Параметры гумусного состояния легкосуглинистых почв варьируют в весьма широких пределах. При отсутствии водупорных горизонтов, весьма интенсивном сельскохозяйственном использовании, без внесения органических удобрений верхние горизонты оказываются относительно обедненными органическим веществом. Примером может служить почва разреза 13 (Черняховский район, ЗАО им. Черняховского).

Разрез 13. Плоская равнина. Пашня. Посевы озимого рапса

$A_{пах}$	$\frac{0-27}{27}$	Светло-серый, легкосуглинистый, рыхлый, влажный. Структура комковатая. Густо пронизан корнями растений. Ходы червей, живые черви, личинки насекомых. Переход постепенный по цвету и гранулометрическому составу. Вскипания от НС1 нет.
AB	$\frac{27-48}{21}$	Светло серый, несколько светлее предыдущего, супесчаный, рыхлый, влажный. Структура непрочнокомковатая. Переход ясный по цвету. Вскипания от НС1 нет.
B	$\frac{48-95}{47}$	Серо-коричневый с ржавыми пятнами гидратированной окиси железа, супесчаный, рыхлый, сырой. Структура непрочнокомковатая. Переход ясный по гранулометрическому составу. Вскипания от НС1 нет.
BC	$\frac{95-115}{20}$	Коричневый, легкосуглинистый, сырой, рыхлый. Включения гальки. Вскипания от НС1 нет.

Почва – дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном легком суглинке.

Содержание гумуса в пахотном горизонте составляет 1,6%, глубже постепенно снижается до 1,05 в подпахотном горизонте, до 0,6 в горизонте В и до 0,3% в горизонте ВС. Такое распределение органического вещества характерно для легких почв с глубоким залеганием водоупора. Перемещение гумусовых веществ происходит с нисходящими токами водных растворов. Состав гумуса пахотного горизонта также имеет сходство с органическим веществом гумусо-аккумулятивного горизонта почвы разреза 6 (рис. 11).

Отношение $C_{тк} : C_{фк}$ в данной почве близко к таковому для хорошо окультуренных разновидностей дерново-подзолистых почв. По-видимому, фульвокислоты и близкие к ним по свойствам вещества относительно свободно мигрируют в нижележащие горизонты, тогда как подвижность гуминовых кислот существенно ниже. Это подтверждают данные фракционного анализа: в составе третьей и особенно второй фракции явно преобладают гуминовые кислоты, тогда как в составе первой фракции фульвокислот в полтора раза больше, чем гуминовых. Содержание негидролизуемого инертного гумуса близко к среднему для почв данного гранулометрического состава. В целом состав органического вещества близок к оптимальному для окультуренных почв, однако общее содержание органического углерода следует увеличить.

Более типичное для дерново-подзолистых почв строение профиля включает обедненные илом гумусово-аккумулятивный и элювиальный горизонты и обогащенную илом иллювиальную часть профиля. Последняя обычно имеет более низкую водопроницаемость, вследствие чего на верхней границе иллювиального горизонта периодически застаивается вода. В пахотных почвах роль водоупора может играть плужная подошва. Застойно-промывной режим верхних горизонтов ведет к возрастанию абсолютного (а иногда и относительного) содержания фульвокислот [Зайдельман, 1998]. Примером почвы с выраженной текстурной дифференциацией может служить почва разреза 4 (Гурьевский район, СПК колхоз «Родники»).

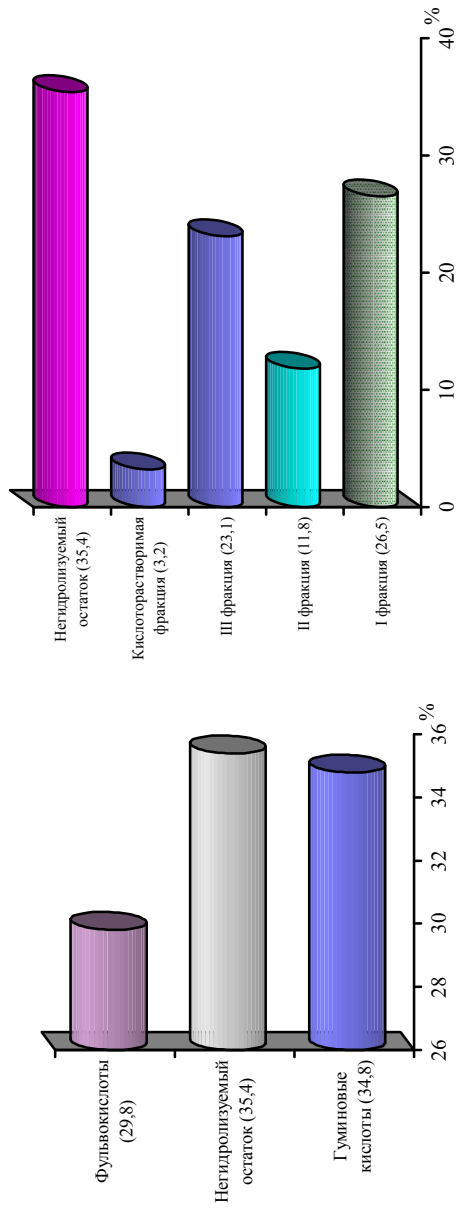


Рис. 11. Состав гумуса горизонта $A_{\text{гум}}$ разреза 13:
а – групповой; *б* – фракционный

Разрез 4. Средняя часть пологого склона.
Пашня. Озимая пшеница

$A_{\text{пах}}$	$\frac{0-27}{27}$	Пахотный горизонт серого цвета, легкосуглинистый, рыхлый, влажный. Структура комковатая. Обильные корни растений, встречаются полуразложившиеся растительные остатки, ходы червей. Включения хряща и гальки. Переход ясный по цвету и плотности.
AB	$\frac{27-48}{21}$	Коричневый, среднесуглинистый, уплотненный влажный. Единичные корни растений, ходы червей, затеки гумуса. Включения гальки. Переход постепенный.
B_1	$\frac{48-69}{21}$	Коричневый, тяжелосуглинистый, плотный, влажный. Новообразования-глинистые кутаны. Структура ореховатая. Единичные включения гальки. Переход постепенный по гранулометрическому составу.
B_2	$\frac{69-125}{56}$	Палево-коричневый с рыжими пятнами гидратированной окиси железа. Легкосуглинистый, влажный, тонкие прослойки белого песка. Переход постепенный.
C	$\frac{125-165}{40}$	Плотный коричневый легкий суглинок, влажный. Включения хряща и гальки. Вскипания от HCl нет по всему профилю.

Почва – дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном бескарбонатном суглинке.

Пахотный горизонт отличается низким содержанием органического вещества – 1,8% в пересчете на гумус. В подпахотном горизонте оно снижается до 0,77%, в горизонтах B_1 и B_2 – до 0,57 и 0,5% соответственно. По-видимому, более резкое падение гумусированности, как и отчетливо выраженный иллювиальный горизонт, указывает на выраженность подзолообразовательного процесса в прошлом. Состав гумуса заметно отличается от предыдущего примера (рис. 12).

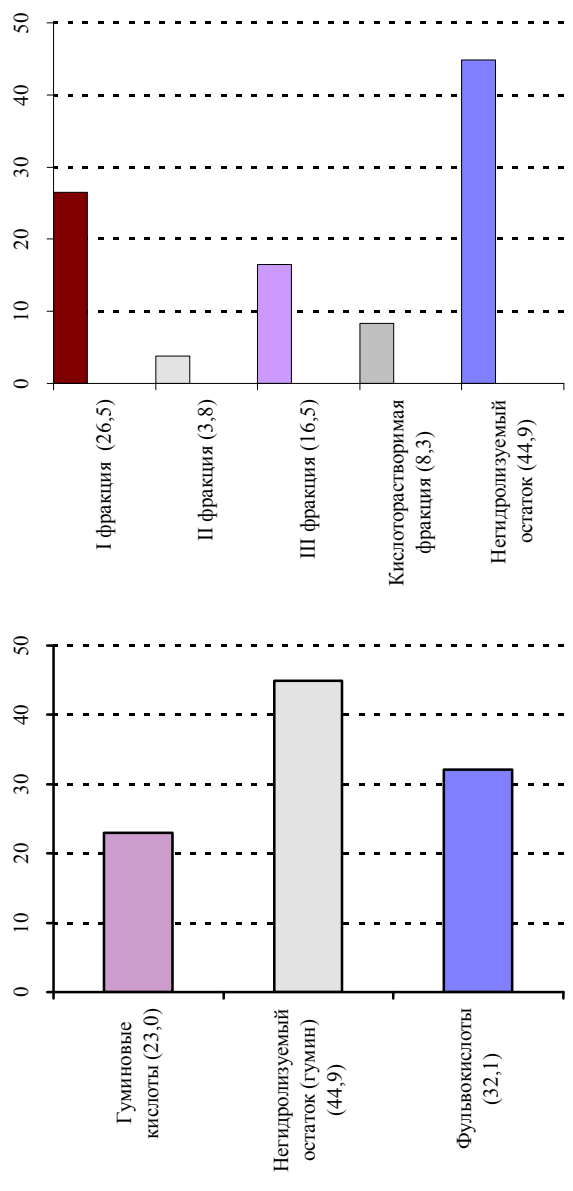


Рис. 12. Состав гумуса горизонта $A_{\text{пах}}$ разреза 4:
а – групповой; *б* – фракционный

Особенностями гумусного состояния рассматриваемой почвы являются: во-первых, относительно высокая доля негидролизующего остатка; во-вторых, значительное количество кислоторастворимых веществ, куда входят как неспецифические соединения, так и свободные фульвокислоты; в-третьих, низкое содержание связанных с катионами щелочноземельных металлов гумусовых веществ, причем содержание углерода гуматов кальция составляет лишь 100 мг/кг почвы.

Содержание первой фракции гумусовых веществ находится в пределах, характерных для пахотных легкосуглинистых почв. Таким образом, органическое вещество в горизонте В представлено преимущественно вымытыми из пахотного горизонта соединениями, уловленными и закрепленными находящимися там минеральными коллоидами и илистыми частицами.

Мероприятия по оптимизации гумусного состояния такой почвы должны включать не только внесение органических удобрений, но и изменение кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий гумификации. Для первого требуется обязательное известкование, для второго – периодическое глубокое рыхление горизонта АВ и в случае необходимости ремонт или реконструкция мелиоративной системы. Без этих мероприятий внесение органических удобрений будет малоэффективным.

При относительно неглубоком залегании карбонатной морены гумусное состояние пахотных легкосуглинистых текстурно-дифференцированных почв изменяется в сторону увеличения доли второй фракции гумусовых веществ, тогда как относительные параметры меняются незначительно. Для окультуривания таких почв и улучшения их гумусного состояния целесообразно – кроме периодического глубокого рыхления подпахотного горизонта с целью ликвидации плужной подошвы – вводить в севооборот сидераты или культуры с глубоко проникающей корневой системой с последующей запашкой пожнивных остатков.

При переходе от легкосуглинистых к среднесуглинистым почвам наблюдается некоторое снижение содержания общего углерода в пахотном горизонте и закономерное увеличение

доли наиболее инертной части гумуса-негидролизующего остатка, а также прочно фиксированной третьей фракции гуминовых кислот. Среднестатистические параметры гумусного состояния пахотных дерново-подзолистых среднесуглинистых почв представлены на рисунке 13.

Для большинства среднесуглинистых почв характерна неоднородность профиля по гранулометрическому составу. Часто наблюдается текстурная дифференциация с перемещением илестых частиц на глубину 40 – 100 см от дневной поверхности. Выраженный лессиваж способствует застою вод атмосферных осадков на поверхности иллювиального горизонта, следствием чего является периодическое более или менее длительное переувлажнение горизонта $A_{\text{пах}}$. Периодическая смена аэробных условий гумификации анаэробными отражается на составе органического вещества. Примером пахотной среднесуглинистой текстурно-дифференцированной почвы служит разрез 2 (Гвардейский район, ПТФ Молдованова).

Разрез 2. Плоская равнина. Пашня. Посевы озимой пшеницы

$A_{\text{пах}}$	$\frac{0-26}{26}$	Серо-коричневый, среднесуглинистый, рыхлый, влажный. Структура комковатая. Обильные корни растений, ходы червей. Включения гальки и валунов разного диаметра. Переход ясный по плотности. Вскипания от НСІ нет.
A_1	$\frac{26-38}{12}$	Серо-коричневый, несколько светлее предыдущего, среднесуглинистый, плотный, влажный. Корни растений, ходы червей. Структура крупнокомковатая. Включения гальки. Вскипания от НСІ нет. Переход ясный по цвету и гранулометрическому составу.
B_1	$\frac{38-78}{40}$	Рыжевато-коричневый со светлыми пятнами, тяжелосуглинистый с включениями линз песка диаметром до 2 см, плотный, влажный. Структура глыбистая. Ходы червей, включения гальки. Переход постепенный. Вскипания от НСІ нет.
B_{2g}	$\frac{78-109}{31}$	Сизовато-коричневый, глинистый, плотный, влажный, бесструктурный. Включения гальки. Живые черви. Переход постепенный. Вскипания от НСІ нет.

C_k $\frac{109-135}{26}$ Коричневый средний суглинок, уплотненный, сырой. Включения карбонатов и моренных валунов. От HCl вскипает. Вода на глубине 135 см.

Почва – дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на моренном карбонатном суглинке.

Пахотный горизонт характеризуется относительно невысоким содержанием органического вещества – 1,7% в пересчете на гумус. Ниже содержание гумуса постепенно убывает: в A_1 – 1,43%, в B_1 – 1 и в B_{2g} – 0,6. Миграция органического вещества происходит как с нисходящим током почвенных растворов, так и вследствие деятельности червей. Состав гумуса сходен с гумусом пахотного горизонта пахотной легкосуглинистой текстурно-дифференцированной почвы разреза 2 (рис. 14).

Наибольшую долю в органическом веществе занимает негидролизуемый гумус, что в первую очередь связано с утяжелением гранулометрического состава и ростом содержания ила и минеральных коллоидов. Содержание гуминовых кислот весьма низкое, гораздо ниже, чем в среднем для пахотных почв данного гранулометрического состава, отношение $C_{гк} : C_{фк}$ – узкое. Среди связанных с катионами щелочноземельных металлов гумусовых веществ несколько преобладают гуматы, тогда как в других фракциях доминируют фульвокислоты. Оптимизация гумусного состояния должна включать меры по увеличению массы источников гумуса, а также приемы регулирования кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий гумусообразования.

Пахотные тяжелосуглинистые почвы отличаются меньшим содержанием органического вещества, чем легкосуглинистые. Эта закономерность прослеживалась еще в 50-е гг. XX в. [Завалишин, Надеждин, 1961; Важенин, Белякова, 1959]. Групповой и фракционный состав отличается повышенным содержанием негидролизованного органического вещества и относительно широким отношением $C_{гк} : C_{фк}$ (рис. 15).

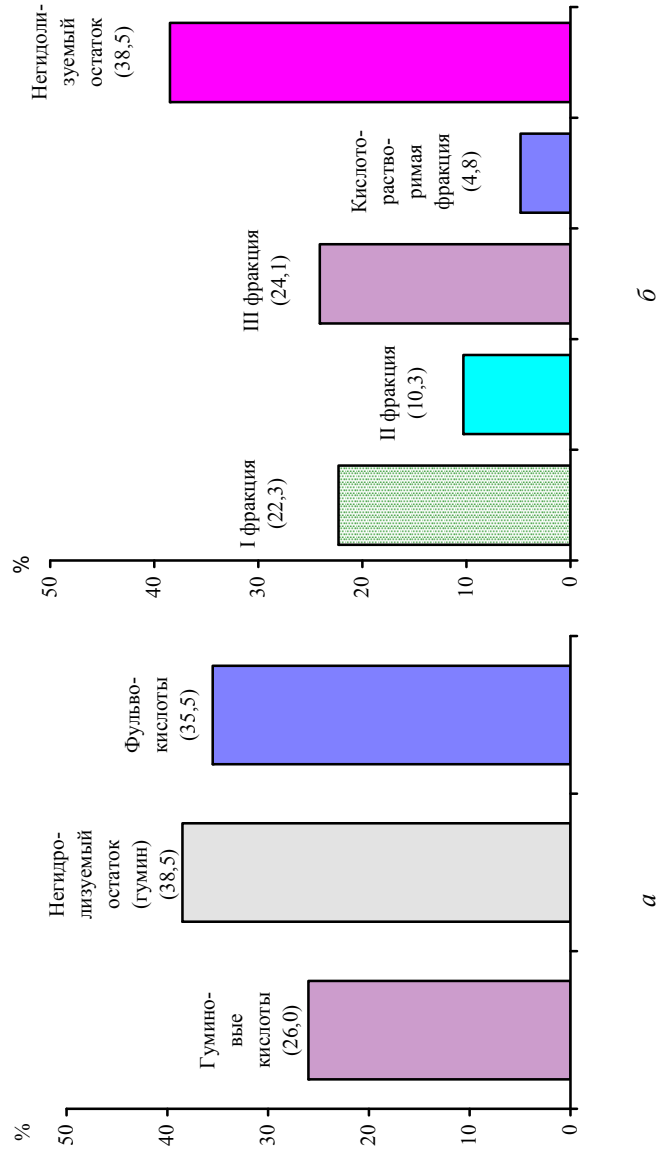
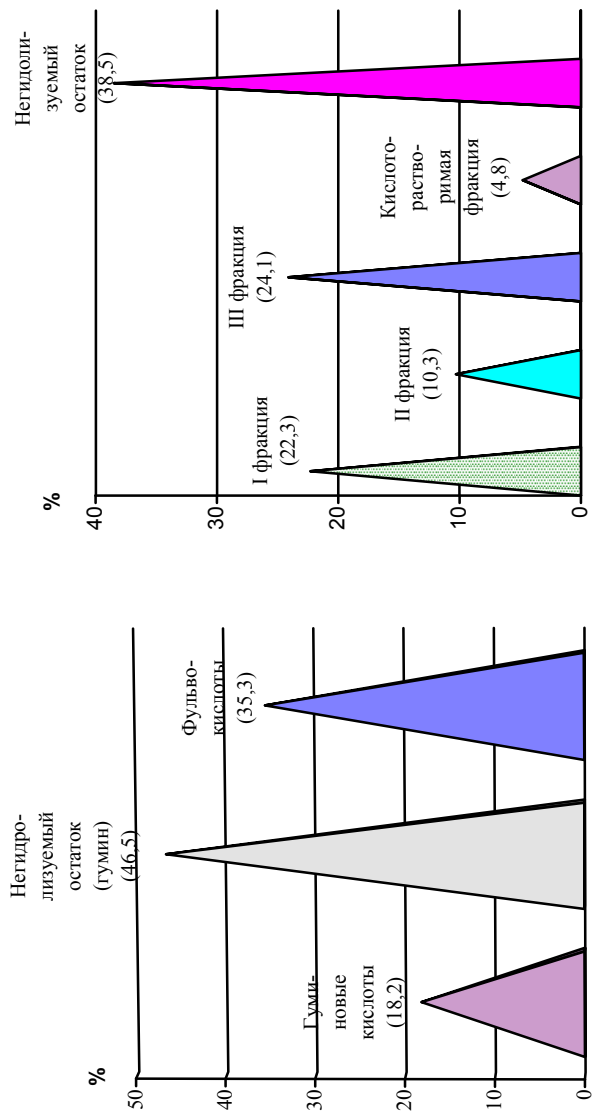


Рис. 13. Состав гумуса горизонта $A_{\text{пах}}$ пахотных дерново-подзолистых среднесуглинистых почв:
а – групповой; *б* – фракционный



а Рис. 14. Состав гумуса горизонта $A_{\text{пах}}$ почвы разреза 2:
а – групповой; **б** – фракционный

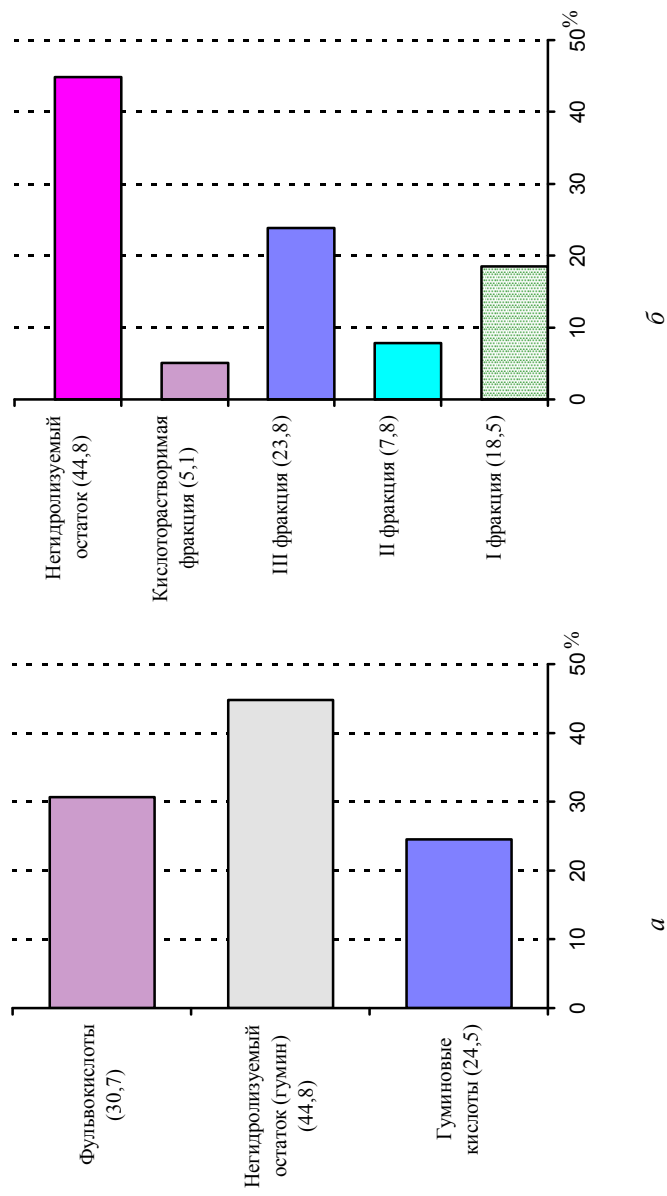


Рис. 15. Состав гумуса горизонта $A_{\text{нах}}$ тяжелых суглинистых почв:
a – групповой; *б* – фракционный

Повышение плодородия тяжелосуглинистых почв требует несколько иных мероприятий. На первый план выходит необходимость увеличения общего содержания органического углерода в пахотном и подпахотном горизонтах, так как агрофизические свойства напрямую зависят от содержания $C_{орг}$. С другой стороны, нужно увеличивать долю структурообразующей второй фракции гумуса, но при этом сохранять и даже увеличивать пул свободных и рыхлосвязанных органических веществ, для чего требуется на фоне роста массы источников гумуса поддерживать нейтральную реакцию почвенных растворов, а также предпринимать меры по усилению биологической активности. Последнее необходимо для эффективной трансформации поступающих источников гумуса.

Многие показатели гумусного состояния пахотных почв Калининградской области несколько отличаются от почв Центральной России. Для пахотных почв характерен большой разброс отдельных величин, характеризующих количество и состав почвенного органического вещества, поэтому комплекс мер по оптимизации количества и состава гумуса должен подбираться индивидуально для каждого поля, а иногда более дифференцированно по почвенным контурам.

Глава 3 || ВЗАИМОСВЯЗЬ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ
С ОСНОВНЫМИ АГРОХИМИЧЕСКИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПОЧВ

3.1. Азотный режим и гумусное состояние почв

Азот является необходимым составляющим элементом гумусовых веществ. В составе гуминовых кислот содержание азота колеблется от 3,5 до 6%, в составе фульвокислот – от 3 до 4% [Добровольский, 1998]. Согласно Д.С. Орлову (1974), структурная ячейка гуминовой кислоты, выделяемой из дерново-подзолистой почвы, имеет вид $C_{173}H_{183}O_{86}N_{11}$, а структурная ячейка фульвокислоты – $C_{270}H_{318}O_{206}N_{16}$.

Среднее время существования в почве азотосодержащих макромолекул гумусовых веществ изменяется от нескольких десятков лет до многих тысячелетий. Общее содержание азота в педосфере оценивается $1,1 \cdot 10^{11}$ тонн, что составляет около 0,0025% от общего содержания этого элемента в биосфере. Доля атмосферного азота гораздо выше – около 86% от общего содержания элемента в биосфере. Атмосферный азот напрямую не может быть доступен высшим растениям, поэтому этот элемент весьма часто лимитирует биологическую продукцию биогеоценозов, и в частности агроэкосистем.

Источниками азота естественных биогеоценозов являются растительные остатки, а также биомасса микроорганизмов в почве. Значительно меньшее влияние оказывает поступление водорастворимых минеральных соединений азота с атмосферными осадками. Непосредственно усваиваться высшими растениями могут минеральные формы азота – NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , а

также азот неспецифических органических соединений и, по некоторым данным, относительно низкомолекулярных гумусовых веществ, преимущественно фульватного типа. Азот, содержащийся в специфических гумусовых веществах, может быть нескольких форм:

- обменно-поглощенный катион аммония. Этот азот относительно доступен для растений;
- амидный азот и азот боковых цепей. Источником его служат подвергающиеся гумификации белковые соединения, полипептиды и аминокислоты. Растения могут потреблять этот азот после минерализации боковых цепей макромолекул гумусовых веществ;
- гетероциклический азот. Доступен только после полной минерализации гумусовой макромолекулы.

Находящиеся в почве минеральные формы азота, а также микробный пул – соединения азота в отмерших микроорганизмах и низкомолекулярные продукты метаболизма – составляют метаболический пул азота. Эта величина напрямую влияет на биологическую активность почвы и продуктивность экосистем. Находящийся в составе специфических гумусовых соединений азот является резервом. По данным различных авторов, в специфических гумусовых веществах заключено от 90 до 98 % всех запасов почвенного азота.

Естественными факторами, определяющими скорость и продукты процессов гумификации и минерализации почвенного органического вещества, являются водный и термический режим, гранулометрический состав почвы и характер растительности. В агроэкосистемах к указанным факторам прибавляются смена растительного сообщества, степень отрегулированности водного режима и уровень применения удобрений. Распределение органических веществ и азота в почвенном профиле, а также формы нахождения азота в почве являются результатом суммарного воздействия всех вышеперечисленных условий.

Глава 3. Гумусное состояние и основные агрохимические характеристики почв

Содержание азота в различных фракциях гумусовых веществ отличается в 2 – 3 раза, в инертных она может достигать 8 – 9%. Следовательно, групповой и фракционный состав гумуса может служить величиной, характеризующей не только формы соединений углерода, но и запасы почвенного азота. С другой стороны, фракционный и, особенно, групповой состав почвенного органического вещества напрямую зависит от микробиологической активности почв, которая, в свою очередь, может быть лимитирована количеством минерального и легкогидролизуемого азота. Таким образом, содержание и запасы азота в почве, с одной стороны, и состав и качество почвенного гумуса – с другой, являются взаимосвязанными и взаимозависимыми величинами.

Распределение органического вещества и азота в дерново-подзолистой иллювиально-гумусово-железистой супесчаной почве под сосновым лесом представлено в таблице 23.

Таблица 23

Содержание углерода и азота в дерново-среднеподзолистой иллювиально-гумусово-железистой почве

Горизонт	Глубина, см	C _{орг.} , % к почве	N _{общ.} , % к почве	C : N
A ₁	4 – 17	4,15	0,14	29,6
A ₂	18 – 31	0,64	0,08	8,0
B _h	32 – 41	1,91	0,06	31,9
B _{hf}	42 – 47	1,78	0,05	35,6
B _{f(ort)}	48 – 60	1,13	0,02	56,6

Рассматриваемая почва – типичная дерново-подзолистая с морфологически четко выраженным оподзоленным и иллювиально-гумусовым горизонтами. По содержанию гумуса выделяют следующие виды горизонта:

- гумусово-аккумулятивный – с максимальным содержанием органического вещества;
- элювиальный – с пониженным содержанием гумуса;

- иллювиально-гумусово-железистый – со вторичным максимумом органического вещества.

Распределение азота в профиле этой почвы имеет принципиально иной характер. Максимальное накопление элемента наблюдается в гумусово-аккумулятивном горизонте, однако вниз по профилю его содержание постепенно снижается. Широкое отношение $C : N$ указывает на бедность азотом основного источника гумуса – хвойного опада, а также на неблагоприятные условия для азотфиксирующих микроорганизмов.

Распределение величины $C : N$ в профиле отражает генезис почвы и режимы ее функционирования. Большинство корней растений сосредоточено в верхних слоях – 30 см – почвенного профиля. Именно в этой зоне протекают процессы гумификации и минерализации органического вещества, а также азотный обмен. Органическое вещество горизонта A_1 отражает состав опада соснового леса, где содержание азота в хвое и ветвях соответственно составляет лишь 0,95 и 0,71% на абсолютно сухое вещество. Ниже – в горизонте A_2 – новообразованное органическое вещество минерализуется, часть углерода теряется в виде CO_2 , а часть – в виде соединений главным образом фульватной природы – мигрирует с нисходящими токами почвенных растворов в горизонт В. Мигрирующие фульвокислоты отличаются очень широким отношением $C : N$ (табл. 23). Так, в горизонте A_2 создается относительный (к общему углероду) максимум азота.

В ортзандовом горизонте содержание гуминовых кислот близко к нулю. Практически все органическое вещество представлено кислоторастворимыми соединениями (фракция 1а), а также первой и третьей фракциями ФК. Содержание азота в этих соединениях не превышает 2%. Таким образом, малый круговорот азота почти полностью ограничен элювиальной частью профиля, тогда как органический углерод проникает гораздо глубже. Вынос азота в почвенно-грунтовые воды количественно оценить достаточно сложно, однако, судя по со-

ставу миграционноспособных органоминеральных соединений, он относительно невелик.

В лиственном лесу на тяжелых карбонатных флювиогляциальных отложениях (разрез 23) отношение $C : N$ в гумусово-аккумулятивном горизонте составляет 17,8. Эта величина близка к среднему отношению $C : N$ в гуминовых кислотах и находится в промежутке между отношением $C : N$ для инертного и лабильного гумуса. В нижележащем горизонте АВ отношение $C : N$ расширяется до 20,3. В горизонте В отношение $C : N$ резко сужается до 7,8; ниже – в горизонте ВС – незначительно расширяется до 9,0. Следовательно, азотный режим почвы под лиственным лесом имеет отличия от рассмотренного выше случая. Повышенное относительное содержание азота в A_1 и АВ связано с иным составом опада, в котором количество азота находится в пределах 2 – 2,5%, а также несколько отличным видовым составом гумифицирующей и разлагающей органическое вещество микрофлоры. В нижних горизонтах почвенного профиля вероятна фиксация неорганической формы азота – иона аммония – глинистыми минералами.

Распределение валового азота по профилю дерново-слабоподзолистой почвы на легких кислых моренных суглинках отличается выраженной аккумуляцией азота в гумусированной части профиля и практически полным его отсутствием нижележащих горизонтов. Отношение $C : N$ по всему профилю шире, чем в почве на карбонатной морене. Следовательно, при прочих равных условиях (водный режим, гранулометрический состав) органическое вещество почв под лесом оказывается относительно обедненным азотом, а существенное сужение отношения $C : N$ наблюдается только в насыщенных основаниями горизонтах.

Почвы под травянистой растительностью имеют резко отличный от лесных почв азотный режим. Так, для супесчаной почвы на тяжелом моренном бескарбонатном суглинке, длительное время находившейся под пашней, характерно более высокое содержание азота и гораздо более низкое содержание органического вещества по всему профилю (табл. 24).

Таблица 24

**Содержание гумуса и азота в дерново-слабоподзолистой
иллювиально-гумусовой глубокоогулеванной супесчаной почве
(разрез 7)**

Горизонт	Глубина, см	C _{орг} , % к почве	N _{общ} , % к почве	C : N
A ₁	3 – 26	1,04	0,15	7,0
AB	27 – 49	0,61	0,15	4,1
B _h	50 – 72	0,67	0,09	7,4
BCg	73 – 115	0,36	0,06	6,0
Dg	116 – 150	0,21	0,06	3,6

Распределение органического вещества в профиле данной почвы свойственно слабокультурным легким дерново-подзолистым почвам. В отличие от почвы разреза 22 вторичный максимум содержания гумуса в горизонте B_h, как и относительный минимум в подпахотном горизонте, выражен не резко. Фракционный состав гумуса горизонта A₁ почвы разреза 7 отличается от гумуса почвы разреза 22 большей дозой инертных фракций и несколько меньшей фульватностью. Параллельно с увеличением доли инертного гумуса возрастают и запасы общего азота. Основными причинами этого являются, с одной стороны, различие химического состава источников гумуса, а с другой – повышенная скорость минерализации органического вещества.

Поселение березы на сходной по гранулометрическому составу почве привело к росту содержания органического углерода в гумусово-аккумулятивном горизонте до 1,38% и снижению содержания общего азота до 0,1%. В нижележащих горизонтах количество гумуса и азота несколько снизилось. Таким образом, поселение древесной растительности достаточно быстро (в течение нескольких лет) изменяет как гумусное состояние, так и азотный режим почвы. Это подтверждает важную роль источников гумуса в формировании общего запаса почвенного азота.

Формирование запасов азота в пахотных почвах тяжелого гранулометрического состава обусловлено не только набором выращиваемых культур, дозами минеральных и органических удобрений, но и содержанием и распределением в профиле гумуса, а также характером почвообразующих пород и водным режимом. Нарастание признаков оглеения при соответствующем увеличении длительности периодов анаэробноза сопровождается расширением отношения $C : N$. В анаэробной среде нитрификация подавляется, тогда как восстановление неорганических соединений азота до аммония протекает весьма активно. Ионы аммония могут обменно фиксироваться органическими, главным образом гумусовыми, кислотами почвы. В средних и нижних горизонтах почв тяжелого гранулометрического состава значительную роль в фиксации аммония могут играть отрицательно заряженные коллоиды глинистых минералов.

Влияние степени гидроморфизма на накопление гумуса и азота отчетливо прослеживается на примере расположенных в одной катене пахотных почв, сформированных на бескарбонатной тяжелосуглинистой морене. На возвышенности расположена дерново-слабоподзолистая глубокооглеенная почва, в профиле которой морфохроматические признаки оглеения проявляются с глубины 81 см. В низинной части – находится дерново-скрытоподзолистая глееватая почва с оглеенным иллювиальным горизонтом, нижняя часть которого и почвообразующая порода имеют характерную для тяжелых глееватых почв мраморовидную окраску. Содержание органического вещества и азота в этих почвах приведено в таблицах 25, 26.

Почва характеризуется достаточно мощной гумусово-аккумулятивной частью профиля (40 см), но относительно невысоким содержанием общего органического вещества. В составе гумуса заметно преобладают инертные фракции – сумма негидролизующего остатка и третьих фракций превышает 50% от $C_{орг}$. Это, а также низкое отношение $C : N$ указывают на интенсивность процессов гумификации и минерализации,

3.1. Азотный режим и гумусное состояние почв

причем последней гораздо активнее подвергаются безазотистые молекулы растительных остатков, тогда как азотсодержащие фрагменты активно включаются в состав микробной биомассы и гумусовых веществ.

Таблица 25

Содержание гумуса и азота в дерново-слабоподзолистой глубокооглеенной почве

Горизонт	Глубина, см	C _{орг} , % к почве	N _{общ} , % к почве	C : N
A _{пах}	0 – 23	1,04	0,16	6,5
AB	23 – 40	0,82	0,12	6,9
B	41 – 80	0,15	0,03	4,8
C _g	81 – 110	0,10	0,03	3,3

Распределение органического вещества и азота в профиле дерново-скрытоподзолистой глееватой почвы несколько более равномерно, чем в вышеописанном примере (табл. 26).

Таблица 26

Содержание гумуса и азота в дерново-скрытоподзолистой глееватой почве

Горизонт	Глубина, см	C _{орг} , % к почве	N _{общ} , % к почве	C : N
A _{пах}	0 – 25	1,10	0,11	10,0
AB	25 – 40	0,68	0,07	9,7
B _{1g'}	41 – 56	0,38	0,06	6,3
B _{2g''mr}	57 – 90	0,29	0,05	5,8
BC _{g''mr}	91 – 120	0,17	0,05	3,5

В накоплении органического вещества и азота в обеих почвах просматриваются вполне определенные различия. В глееватой почве пахотный горизонт несколько более гумусирован, чем в глубокооглеенной, а подпахотный – напротив, содержит меньше гумуса. Содержание азота в верхних слоях – 40 см – глееватой почвы существенно ниже, чем в

глубокооуглеенной. Это свидетельствует не только о большей интенсивности микробиологической деятельности в глубокооуглеенной почве, но и о несколько ином направлении гумификации. В иллювиальном горизонте глубокооуглеенной почвы содержание органического вещества очень низкое. Это указывает на формирование в верхнем 40-сантиметровом слое преимущественного инертного гумуса, относительно обогащенного азотом. Выход подвижных органических соединений, способных мигрировать в нижнюю часть профиля, весьма невелик. В глееватой почве периодическое избыточное увлажнение верхнего наиболее биологически активного слоя приводит к более высокому выходу подвижных гуминовых веществ. На существенно большую миграционную способность формирующихся в полугидроморфных условиях гумусовых веществ указывает не только более широкое отношение C : N в верхней части профиля, но и повышенное – почти в два раза – содержание органического вещества в иллювиальной части профиля.

В нижних горизонтах глееватой почвы содержание азота выше, чем в глубокооуглеенной на аналогичной глубине. Отношение C : N показывает, что в этих горизонтах существенный вклад в общий азот вносят минеральные формы. При низких значениях окислительно-восстановительного потенциала и господстве анаэробных условий окисленные соединения азота (нитраты, нитриты) термодинамически неустойчивы. Единственной формой азота, способной накапливаться в таких условиях в слабокислой или нейтральной среде, является ион аммония. Накопление аммонийного азота происходит, по-видимому, вследствие адсорбции его поверхностью отрицательно заряженных минеральных коллоидов. Следовательно, при утяжелении гранулометрического состава расширяется возможность накопления минерального азота в нижних горизонтах полугидроморфных почв, где биологическое потребление его микрофлорой и корнями растений относительно невелико.

Для сельскохозяйственного производства особенный интерес представляет азотный режим и баланс азота в корнеобитаемом слое пахотных почв. В верхних горизонтах профиля азот представлен следующими формами: минеральный азот – нитратный и аммонийный (содержание нитрита в почвах пренебрежимо мало); азот в составе биомассы и детрита, а также азот в составе специфических гумусовых веществ. Оценка обеспеченности почвы азотом производится исходя из содержания и запаса минеральных форм элемента. Приходные статьи азотного баланса в пахотных почвах включают: поступление с минеральными и органическими удобрениями (2,2 кг азота в 1 тонне органических удобрений); внесение с семенами (определяется как произведение нормы высева на содержание азота в семенах); поступление с осадками; накопление азота в результате симбиотической азотфиксации клубеньковыми бактериями и несимбиотической азотфиксации свободноживущими микроорганизмами.

Расходная часть азотного баланса состоит из следующих статей: вынос азота урожаем (произведение валового сбора на содержание элемента в продукции); потери за счет эрозии почвы; потери за пределы корнеобитаемого слоя вследствие вымывания; потери при денитрификации минеральных и органических удобрений.

По расчетам В. Зауерландта, среднегодовой баланс азота в почвах Восточной Пруссии составил +2,1 кг/га [Sauerlandt, 1934]. Сведение сальдо азотного баланса в пахотных почвах за период с 1966 по 1995 г. (рис. 16) показало, что в период интенсивной химизации (1976 – 1990 гг.) баланс азота был близок к нулю, а в некоторых районах достигал +17,6 кг/га.

Оценка составляющих статей баланса показывает, что поступление азота с осадками, семенами и за счет деятельности азотфиксирующей микрофлоры составляет в среднем 14 кг/га в год. Усредненные потери за счет эрозии оцениваются в 5 кг/га в год, в результате вымывания – 5% от суммы приходных статей баланса, из-за денитрификации азотных и органи-

Глава 3. Гумусное состояние и основные агрохимические характеристики почв

ческих удобрений – соответственно 20 и 15%. Остальные статьи зависят от доз вносимых удобрений и урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур.

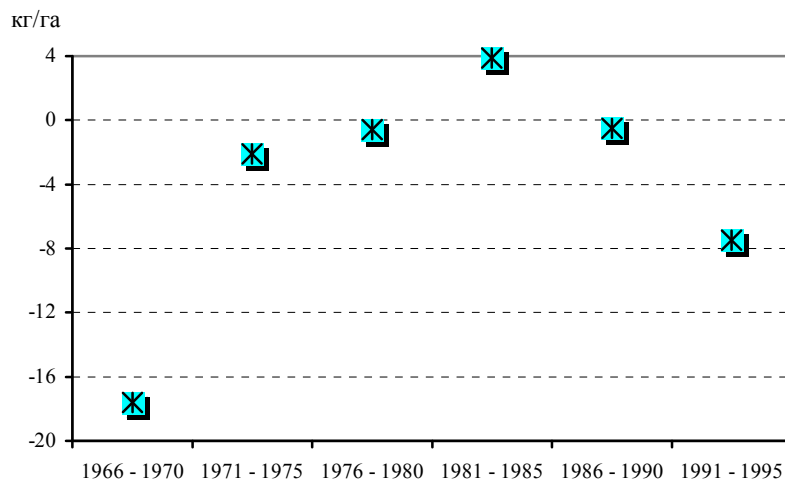


Рис. 16. Баланс азота в почвах области, кг/га в год
[Панасин, Слобожанинова, Чашкина, 1997]

Азот – химически лабильный элемент, способный относительно быстро переходить из минеральных форм в органическое вещество. Поступающие растительные остатки за три года минерализуются на 86% [Багаутдинов, 1994]. Остальная часть пополняет пул лабильных органических соединений, главным образом фульвокислот и близких к ним соединений. Содержание азота в кислоторастворимой фракции органического вещества (ФК 1а) составляет 0,8 – 0,9% (атомные проценты), в подвижных и рыхлосвязанных фульвокислотах – около 1,5%, в первой фракции гуминовых кислот – 1,8 – 1,9%. При гумификации органических удобрений и растительных остатков для почв с соотношением $C_{ГК} : C_{ФК}$ 0,7 – 0,9 на каждую тонну образовавшегося гумуса связывается около 16 кг

азота. Соответственно при минерализации 1 тонны органического вещества почвы такая же масса азота переходит в минеральную форму. При этих расчетах сделано допущение, что минерализуется гумус только первых фракций. По данным Ф.Я. Багаутдинова, период обновления фракции фульвокислот Ia составляет 100 ± 6 лет, фракции, непосредственно извлекаемой щелочью, – 110 ± 6 лет, тогда как фракций связанных фульвокислот (второй и третьей) – 450 ± 20 лет, а соответствующих фракций гуминовых кислот – 700 ± 45 лет. Таким образом, при учете минерализации инертного гумуса выход минерального азота составит 18 – 23 кг/га в год в зависимости от общего содержания гумуса и его фракционного состава.

При расчете баланса азота под конкретной культурой в севообороте необходимо учитывать потери азота при гумификации органических удобрений и растительных остатков и поступление минерального азота при минерализации гумуса. В зависимости от складывающегося баланса органического вещества нужно вносить поправку в итоговый баланс азота. Приведенные А. Нанне (1940) данные по балансу азота за 1878 – 1939 гг. показали отрицательное сальдо в 22 – 37 кг N/га в год. Дефицит азота при этом покрывался примерно наполовину за счет работы азотфиксирующих микроорганизмов и наполовину за счет минерализации почвенного гумуса [Важенин, 1959]. Таким образом, по расчетам Гане вклад высвобождающегося при минерализации гумусовых веществ азота в приходную часть баланса составляет 11 – 19 кг/га в год, что вполне сопоставимо с нашими расчетами.

Если под зерновыми культурами в среднем потери органического вещества составляют около 1 т/га, то при этом в минеральную форму переходит 18 – 23 кг азота. Под пропашными и силосными культурами потери гумуса вследствие минерализации составляют в среднем 1,6 – 1,7 т/га, что дает дополнительное поступление азота в количестве 29 – 37 кг/га. В чистом пару высвобождение азота вследствие минерализации гумуса достигает 40 – 53 кг/га. Около 5% этого высвободивше-

гося азота вымывается за пределы корнеобитаемого слоя, хотя эта величина колеблется в зависимости от водного режима конкретной почвы и количества выпадающих в данный год осадков. Тем не менее для более объективного расчета баланса азота в пахотных почвах, по нашему мнению, следует учитывать поступление минерального азота при минерализации почвенного гумуса.

С другой стороны, установлено, что внесение азотных удобрений приводит к возрастанию активности гетеротрофной микрофлоры, следствием чего является ускоренная минерализация органического вещества. Внесение повышенных доз азотных удобрений (120 – 180 кг д.в./га) увеличивает темпы минерализации гумуса примерно вдвое. Соответственно увеличивается и количество высвобождающегося из гумусовых веществ азота. При средней обеспеченности почвы минеральным азотом и высоких (свыше 180 кг д.в./га) дозах азотных удобрений газообразные потери элемента возрастают по экспоненте [Милащенко и др., 2000]. Кроме того, подавляется нитрификация, так как механизмы нитрификации и денитрификации термодинамически обратимы и направление процессов зависит от суммарной концентрации нитратов в субстрате, т. е. в почве. Таким образом, при повышенных дозах азотных удобрений изменяется вклад отдельных статей в суммарный баланс элемента в почве: увеличиваются статьи поступления азота с удобрениями и в результате минерализации гумуса; сокращается приход азота вследствие деятельности азотфиксирующей микрофлоры; возрастают газообразные потери в форме N_2 и N_2O , а также происходит вымывание растворимых соединений азота из почвенного профиля. Последнее становится особенно актуальным в условиях достаточного и избыточного увлажнения и высокой микробиологической активности почв в течение большей части года, что приводит к достаточно высокому выходу кислоторастворимого органического вещества (фракции ФК 1а), а также подвижных в нейтральной и слабощелочной среде первых фракций гумусовых веществ.

Исследованиями И.Г. Важенина, З.Н. Лебедевой и Н.И. Ломакиной (1959) показано, что содержание водорастворимого гумуса в пахотных дерново-подзолистых почвах Калининградской области при различных системах удобрений составляет: 200 – 300 мг/кг – в легкосуглинистой, 150 – 250 мг/кг – в тяжелосуглинистой и 50 – 250 мг/кг – в супесчаной почве. В супесчаной почве на фоне полного минерального удобрения количество водорастворимой органики было выше весной, непосредственно после внесения, а также после уборки урожая, тогда как в легкосуглинистой почве внесение NPK сопровождалось достоверным ростом концентрации водорастворимых органических веществ в течение всего вегетационного периода. Внесение навоза приводило к существенному (на 25 – 40%) росту концентрации водорастворимого органического вещества не только в пахотном и подпахотном, но и в иллювиальном горизонте (40 – 50 см). Если принять в качестве усредненной величины содержание азота 1,5% от массы растворимого гумуса, то легко подсчитать потери азота из корнеобитаемого слоя вымывания азотосодержащих органических веществ. Как показано выше, эти потери зависят от гранулометрического состава, а также системы удобрений.

Исследования польских ученых [Шпаковска, Жыгиньска-Балоняк и др., 2002] показали, что на слабокислых дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах Великопольской низменности в грунтовые воды выносятся не только низкомолекулярные органические соединения, но и специфические гумусовые вещества, причем последние составляют существенное большинство (71,4 – 82,5% от суммы растворимых органических соединений). Таким образом, при расчете баланса азота необходимо учитывать не только потери от вымывания нитратного и аммонийного азота, но и миграцию азота в грунтовые воды с подвижными гумусовыми веществами.

Итак, запасы азота в почвенном профиле зависят от содержания органического вещества, его фракционного состава,

водного режима почвы и совокупности обусловленных сельскохозяйственным производством факторов (доз и видов применяемых удобрений, набором культур в севообороте и т. д.). Из-за теснейшей взаимосвязи азотного режима почв с параметрами их гумусного состояния составить более-менее точный баланс азота можно только при учете баланса органического вещества. В частности, на каждую тонну минерализованного почвенного гумуса следует добавить в приходную часть азотного баланса 20 кг N/га. При высоких дозах азотных удобрений эта величина может быть скорректирована в сторону увеличения, но при этом возрастает и вынос элемента в форме растворимых органических соединений. Для расчета поправочных коэффициентов, показывающих зависимость поступления дополнительного азота при минерализации органического вещества от вносимой дозы азотных удобрений, а также дополнительного выноса азота в составе специфических гумусовых соединений в зависимости от гранулометрического состава и системы удобрений, требуются дополнительные исследования.

3.2. Гумус и почвенно-поглощающий комплекс

При рассмотрении влияния органического вещества на азотный режим были установлены связи состава гумуса и отдельных слагаемых азотного баланса с гранулометрическим составом, водным режимом, дозами и составом вносимых удобрений, набором выращиваемых культур. Однако такие закономерности характерны не только для азота и его соединений. Практически все элементы питания растений находятся преимущественно в связанном состоянии, количество их водорастворимых форм и концентрации в почвенных растворах обычно весьма невелико. Установлено, что растения способны усваивать не только находящиеся в почвенном растворе молекулы и ионы, но и обменно-поглощенные вещества.

Почвы обладают способностью к поглощению газов, жидкостей, растворимых веществ, твердых частиц. Различают механическое, физическое, физико-химическое, химическое и биологическое поглощение. Механическое поглощение – это способность задерживать в порах частицы суспензий и эмульсий. Биологическая поглотительная способность – это захват содержащих элементы питания молекул и ионов микроорганизмами и корневыми системами растений. Остальные виды поглотительной способности теснейшим образом связаны с процессами сорбции – десорбции и растворения – осаждения. Поглотительная способность почвы обусловлена содержанием коллоидных частиц – минеральных коллоидов, органоминеральных соединений, гумусовых веществ, а также одноклеточных микроорганизмов. Поглотительная способность почвенных коллоидов выражена тем ярче, чем выше степень дисперсности.

Учение о поглотительной способности почв было разработано в начале прошлого века академиком К.К. Гедройцем. Им был введен термин «почвенный поглощающий комплекс» (ППК), под которым понималась совокупность высокодисперсных минеральных и органических веществ, придающих почвам и грунтам поглотительную способность. В современном варианте определение почвенного поглощающего комплекса дано Д.С. Орловым (1992): почвенный поглощающий комплекс есть совокупность минеральных, органических и органо-минеральных компонентов твердой части почвы, обладающих ионообменной способностью. Таким образом, в состав почвенного поглощающего комплекса входят все фракции гумусовых веществ, а также неспецифические низкомолекулярные соединения. Это определение подчеркивает важнейшую роль почвенного гумуса в составе почвенного поглощающего комплекса, но не учитывает возможность необменной фиксации ряда ионов почвенным гумусом по механизму комплексообразования.

Глава 3. Гумусное состояние и основные агрохимические характеристики почв

Состав почвенного поглощающего комплекса, а следовательно, и ионов, возможность перемещения связанных ионов в почвенном профиле определяются числом коллоидных частиц на единицу объема (или массы) почвы, минералогическим составом минеральной части почвенного поглощающего комплекса, а также качеством и количеством органического вещества. В различных по содержанию гранулометрических фракций почвах роль минеральной и органической составляющих почвенного поглощающего комплекса неодинакова. Емкость поглощения глинистых минералов и органических веществ различается на порядок (табл. 27).

Поглотительная способность почвенного органического вещества зависит от его состава и строения, а также природы насыщающего катиона. Обусловленные неодинаковыми условиями гумусообразования отличия в строении гуминовых кислот почв различных природно-климатических зон вызывают разницу в поглотительной способности гуминовых кислот более чем в полтора раза.

Таблица 27

Емкость катионного обмена некоторых составляющих почвенного поглощающего комплекса

Компонент	ЕКО, мг-экв/100 г	Источник
Монтмориллонит	80 – 150	Гримм, 1959
Вермикулит	100 – 150	
Каолинит	3 – 15	
Хлорит	10 – 40	
Мусковит	10 – 50	
Гуминовые кислоты	500 – 900	Александрова, 1980
Фульвокислоты	До 700	
Гумус в целом	41 – 300	Орлов, 1990

Поглотительная способность гумуса в целом различается еще больше, причем максимальные значения характерны для

черноземов, тогда как емкость катионного обмена гумуса дерново-подзолистых почв меньше. В число поглощённых катионов дерново-подзолистых, бурых лесных и дерново-глеевых почв входят кальций, магний, водород, алюминий, железо, марганец и большинство микроэлементов. Будучи веществами кислотной природы, гумусовые кислоты способны образовывать соли с большинством катионов, присутствующих в растворе и в обменно-поглощенном состоянии, причем при солеобразовании в раствор переходят катионы водорода. Однако в силу наличия в молекуле гумусовых веществ многочисленных функциональных групп различной природы устойчивость солей и органо-минеральных комплексов варьирует в весьма широких пределах.

Основу молекулы составляют ароматические фрагменты карбоциклической и гетероциклической природы – бензол, нафталин, антрацен, индол, пиридин, хинолин, пиррол, тиофен, фуран. Ароматические структуры соединяются мостиками, среди которых наиболее распространены углеводородные $-(CH_2)_n-$ и кислородные, реже встречаются азотные $=N-$ и $-NH-$, еще реже – сульфидные. Основную роль в формировании поглотительной способности играют функциональные группы: карбоксильные $-COOH$; гидроксильные $-OH$, которые могут быть связаны как с ароматическими (фенольными), так и с алифатическими (спиртовыми) фрагментами. Кроме них в поглощении и связывании катионов могут участвовать хиноидные, карбонильные, метоксильные и амидные фрагменты гумусовой молекулы. Вклад остатков минеральных кислот – серной и фосфорной ($-SO_3H$ и $-PO_3H_2$), – включенных в молекулу с помощью сложноэфирных связей со спиртовыми, гидроксильными группами, гораздо меньше из-за относительно низкой концентрации этих фрагментов в гумусовых молекулах.

Для дерново-подзолистых и бурых лесных почв особенно актуальным является вопрос о гумусовых веществах как ионообменниках, в которых происходит обмен ионов водорода и

кальция. Методом корреляционного анализа были установлены зависимости основных параметров состояния почвенного поглощающего комплекса от содержания органического углерода для гумусово-аккумулятивных горизонтов автоморфных и полугидроморфных почв (табл. 28).

Таблица 28

Корреляционные связи содержания общего гумуса с некоторыми параметрами почвенного поглощающего комплекса

Показатель	r	Sr
pH солевой вытяжки (KCl)	-0,55	0,19
Обменная кислотность	+0,91	0,05
Гидролитическая кислотность	+0,95	0,03
Степень насыщенности основаниями	-0,66	0,16
Сумма поглощенных оснований	+0,58	0,19

Наиболее тесная корреляция наблюдается между общим содержанием органического углерода и параметрами кислотности. Кроме незначительного количества групп $-\text{SO}_3\text{H}$ и $-\text{PO}_3\text{H}_2$ в молекулы гумусовых веществ входят способные к кислотной диссоциации карбоксильные и фенолгидроксильные группы. Относительное содержание атомов углерода в основных структурных фрагментах гуминовых кислот, выделенных из дерново-подзолистых и дерново-карбонатных почв, определенное методом ^{13}C -ядерного магнитного резонанса, представлено в таблице 29.

Количество фенольных групп ($\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$), определяемое по разности сигналов $\text{C}_6\text{H}_4\text{O}$ - и CH_3O -фрагментов, составляет для гуминовых кислот торфа 5,9%, для гуминовых кислот дерново-подзолистой и дерново-карбонатной почвы 16,4 и 12,6% соответственно. Таким образом, гумус почв в целом заметно более кислый, чем гумус торфа, а кислотность гумуса дерново-подзолистых почв выше, чем дерново-карбонатных.

**Фрагментный состав гуминовых кислот
различного происхождения [Федорова и др., 2003]**

Содержание атомов углерода	Источник гуминовых кислот		
	Торф	Дерново-подзолистая	Дерново-карбонатная
$C = 0$	2,2	7,7	4,1
$C_{\text{хин}}$	3,1	3,7	2,9
COOH	8,4	15,3	11,6
$C_{\text{неорг}}$	1,3		0,8
CarO	9,6	17,5	14,0
Car C,H	28,7	35,9	41,9
$C_{\text{алк}} \text{ O}$	5,2	6,1	5,0
$C_{2,B-0-4}$	2,0	1,6	1,4
CH_3O	3,7	1,1	1,4
$C_{\text{алк}}$	35,7	11,1	17,0
fa	38	53	56

Примечание:

$C_{\text{хин}}$ – углерод хиноидных групп;

Car – углерод ароматических ядер;

Car C,H – углерод ароматических ядер, связанный с C или H;

$C_{\text{алк}}$ – углерод алкильных фрагментов;

$C_{2,B-0-4}$ – углерод гликозидных мостиков;

fa – относительное содержание углерода ароматических фрагментов.

Полученные результаты являются характеристикой гуминовых кислот в Н-форме, тогда как в естественной почве они присутствуют как в свободном состоянии, так и в виде солей, а также органоминеральных соединений с глинистыми частицами. Содержание свободных кислот возрастает с уменьшением pH почвенного раствора, а содержание солей закономерно снижается. Отношение солей к свободным гумусовым кислотам возрастает по мере увеличения pH, независимо от содержания общего гумуса, определяемого по Тюрину.

Для описания равновесия между гумусовыми кислотами и их солями можно использовать уравнение Гендерсона – Гас-

сельбаха: $pH = pK + \lg (\text{соль/кислота})$, где pH определяется в водной вытяжке, pK -отрицательный логарифм константы диссоциации гумусовой кислоты. Константа диссоциации зависит не только от температуры, но и от общего содержания органического вещества. С увеличением количества гумуса константа диссоциации гумусовых кислот снижается. Эта закономерность описывается линейным уравнением $K = K_0 - a\Gamma$, где Γ – содержание гумуса в почве (%); a – коэффициент, равный 0,75 [Алешин, Черников, 1971].

Молекулы гумусовых кислот имеют различающиеся по способности к кислой диссоциации функциональные группы. Определенная С.Н. Алешиним и В.А. Черниковым величина константы диссоциации гуминовых кислот дерново-подзолистой почвы, равная $6,6 \cdot 10^{-6}$, является усредненной величиной, характеризующей кислотность нескольких буферных систем. Исследования И.В. Колосова (1982) показали, что средняя константа диссоциации карбоксильных групп гуминовых кислот составляет $10^{-4,8}$, а фенол гидроксильных групп – $10^{-8,2}$. Эти значения также являются усредненными. Методом потенциметрического титрования установлено наличие трех видов карбоксильных и двух видов фенолгидроксильных групп, различающихся по константам диссоциации.

Актуальная кислотность почв зависит главным образом от содержания наиболее подвижных специфических гумусовых веществ. Коэффициент корреляции между суммарным относительным содержанием фульвокислот и pH водной вытяжки составляет $-0,56 \pm 0,19$, такое же значение имеет коэффициент корреляции между первой фракцией гуминовых кислот и pH водным. В актуальную кислотность вносят вклад все гидролизуемые компоненты гумуса – коэффициент корреляции между негидролизуемой частью гумуса составил $+0,71 \pm 0,14$. Вторая и третья фракции гумусовых кислот также вносят вклад в актуальную кислотность, однако их влияние гораздо меньше, чем подвижных гумусовых ве-

ществ. Коэффициенты корреляции между второй и третьей фракциями гумусовых веществ и актуальной кислотностью оказались статически недостоверными.

Так как молекулы гумусовых веществ содержат несколько различающихся по кислотности (т. е. способности к диссоциации с отщеплением гидратированного протона) функциональных групп, то при типичных для почвенных растворов значениях рН от 5 до 8 часть потенциально ионогенных фрагментов остаются недиссоциированными. При обработке почвы растворами нейтральных и гидролитически щелочных солей такие группы могут обменно связывать катионы соли, выделяя при этом в раствор эквивалентное количество ионов водорода. Таким образом гумусовые вещества влияют на обменную и гидролитическую кислотность.

Изучение корреляционных взаимосвязей между отдельными параметрами гумусного состояния почв и кислотности показало, что с ростом содержания органического углерода обменная и гидролитическая кислотность возрастает почти линейно. Вклад различных фракций гумусовых веществ в измеряемую кислотность пропорционален относительному количеству недиссоциированных кислых функциональных групп. Наиболее тесная зависимость прослеживается между рН солевой вытяжки и суммарным относительным содержанием лабильного гумуса (табл. 30).

Таблица 30

**Коэффициенты корреляции между pH_{KCl}
и содержанием подвижного гумуса
на почвах разного гранулометрического состава**

Почва	n	r	Sr
Супесчаная	19	-0,95	0,06
Легкосуглинистая	36	-0,54	0,12
Среднесуглинистая	24	-0,57	0,14
Тяжелосуглинистая	16	-0,72	0,12
Глинистая	17	-0,74	0,09

Взаимосвязь актуальной и обменной кислотности с относительным содержанием подвижных гумусовых веществ объясняется не только тем, что последние являются донорами протонов в почвенном растворе, но и угнетением ацидофобных видов микроорганизмов при подкислении почвенного раствора, что снижает скорость гумификации растительных остатков и выход обогащенных ароматическими фрагментами «зрелых» гумусовых веществ. Соответственно возрастает относительное содержание наиболее гидрофильных гумусовых веществ относительно простого строения, обладающих высокой химической активностью.

Наиболее тесная корреляционная связь между рН солевой вытяжки и содержанием лабильного гумуса отмечается на почвах легкого гранулометрического состава, что объясняется низким содержанием глинистых алюмосиликатов. В отличие от суглинистых разновидностей теснота корреляционной взаимосвязи между pH_{KCl} и суммарным содержанием первой фракции не зависит от общего содержания органического вещества. На малогумусных (общий гумус менее 2%) суглинистых почвах корреляция между pH_{KCl} и суммой подвижных фракций недостоверна, тогда как на легкосуглинистых почвах со средним и повышенным содержанием гумуса коэффициент корреляции между pH_{KCl} и суммой подвижных фракций гумуса составил $0,80 \pm 0,10$, а на среднесуглинистых – $0,54 \pm 0,12$. Для почв более лёгкого гранулометрического состава теснота корреляционной связи pH_{KCl} и лабильным гумусом также возрастает при увеличении содержания общего органического вещества. Усиление корреляционной связи между рН и лабильным гумусом с увеличением гумусированности почвы вызвано двумя факторами: зависимостью констант диссоциации гумусовых кислот от общего содержания органического вещества и ролью алюминия в формировании обменной кислотности.

Общепризнанно, что в ненасыщенных основаниями почвах (в частности, в дерново-подзолистых) обменная кислотность обусловлена наличием в почвенном поглощающем комплексе ионов водорода и алюминия. Источником алюминия служат первичные минералы класса алюмосиликатов и продукты их выветривания. Основным поставщиком ионов водорода в почвенный раствор являются гумусовые вещества, причем главным образом свободные или связанные с минеральной частью почвы непрочными адгезионными силами, то есть первая фракция.

Наши исследования показывают, что в дерново-подзолистых почвах Калининградской области, имеющих низкое содержание физической глины, кислотность обусловлена главным образом лабильным гумусом. С возрастанием содержания тонкодисперсных фракций увеличивается роль обменного алюминия. При высоком содержании ила и минеральных коллоидов и низком – органического вещества вклад алюминия в обменную кислотность является решающим. Напротив, увеличение содержания гумуса приводит к росту доли обменного водорода в общей почвенной кислотности.

Таким образом, органическое вещество и обменный алюминий являются антагонистами. Гумусовые вещества (гуминовые и фульвокислоты) способны образовывать с алюминием комплексно-гетерополярные соли, в которых ион металла фиксируется необменно [Александрова, 1980]. Экспериментальные данные свидетельствуют о значительной зависимости содержания обменно-поглощенного алюминия от запасов гумуса в сильно- и среднекислых дерново-подзолистых почвах Калининградской области (табл. 31).

Однако на слабокислых и нейтральных почвах влияние органического вещества на подвижность алюминия практически исчезает. Таким образом, увеличение содержания органического вещества на сильно- и среднекислых почвах уменьшает концентрацию, а следовательно, и фитотоксическое действие ионов алюминия.

Таблица 31

Влияние органического вещества на накопление обменного алюминия в дерново-подзолистых почвах, ммоль/кг почвы

Гумус, %	рН _{КСЛ} , ед.	
	4,2 – 4,4	4,5 – 4,7
Менее 2,0	2,43	1,43
2,1 – 3,0	2,33	0,95
3,1 – 4,0	2,15	0,80
Более 4,0	1,66	0,64

Емкость катионного обмена почв зависит от рН раствора, контактирующего с ионообменником. При обработке нейтральной солью в раствор переходят ионы водорода только из наиболее кислых функциональных групп органических макромолекул. При этом, особенно в случае существенного подкисления жидкой фазы, в раствор переходят ионы водорода из групп SO_3H , PO_3H_2 и COOH , причем фосфатная группа диссоциирует только по первой ступени ($\text{R} - \text{PO}_3\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{R} - \text{PO}_3\text{H}^- + \text{H}^+$), а часть карбоксильных групп остается неионизированной. Практически все фенольные группы оказываются в Н-форме. Обработка гидролитически щелочной солью ведет к полной ионизации всех карбоксильных групп и части фенольных. Полученная величина – гидролитическая кислотность – более полно характеризует наличие способных к замещению кислых атомов водорода. Гидролитическая кислотность еще теснее, чем обменная, связана с органическим веществом. По мнению А.Н. Небольсина и З.П. Небольсиной (1998), лишь 1,5 – 4% гидролитической кислотности обусловлено обменно-поглощенным алюминием. В сильноокислых почвах с высоким содержанием подвижной окиси фосфора P_2O_5 (свыше 800 мг/кг) 1,5 – 2,0 мг-экв гидролитической кислотности должно быть отнесено на фосфатные буферные системы $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$.

Остальная часть гидролитической кислотности формируется в основном органическим веществом.

Основным катионом, насыщающим почвенный поглощающий комплекс большинства естественных дерново-подзолистых, дерново-глеевых, бурых лесных и аллювиально-дерновых почв, а также практически всех окультуренных почв, является кальций. Влияние кальция на структуру почвенного поглощающего комплекса весьма многогранно. Во-первых, кальций является весьма эффективным коагулянтом, переводящим минеральные и некоторые органические коллоиды в неподвижное состояние; во-вторых, он регулирует уровень актуальной и обменной кислотности; в-третьих, он определяет формы нахождения микроэлементов в почве, их подвижность и доступность для растений; в-четвертых, контролируя уровень рН почвенных растворов, он изменяет окислительно-восстановительный потенциал многих почвенных рН-зависимых систем. Кроме того, насыщение почвенного поглощающего комплекса ионами кальция приводит к оптимизации многих агрофизических свойств почвы.

Кальций имеет относительно высокое сродство к органической части почвенного поглощающего комплекса. Сходный по большинству химических свойств с кальцием магний также образует соединения с гумусовыми кислотами. Наши исследования показали, что увеличение содержания органического вещества приводит к росту количества обменно-поглощенных кальция и магния (табл. 32).

Таблица 32

**Зависимость суммы поглощенных оснований
от содержания гумуса дерново-подзолистых почв**

Гумус, %	$S(\bar{x} \pm S\bar{x})$, ммоль/кг почвы	1 % гумуса в ммоль/кг
До 2,0	136,8 ± 0,6	–
2,1 – 3,0	167,0 ± 0,4	30,2
3,1 – 4,0	199,0 ± 0,7	32,0
Более 4,0	242,0 ± 1,6	43,0

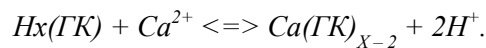
Максимальное влияние на сумму обменно-поглощенных оснований органическое вещество оказывает при содержании гумуса выше 4%. Эта связь сохраняется для всех почв вне зависимости от гранулометрического состава. Коэффициенты корреляции между содержанием обменно поглощенных кальция и магния и общим содержанием органического углерода составили $+0,90 \pm 0,05$ и $+0,82 \pm 0,08$ соответственно. Высокие коэффициенты корреляции указывают на практически линейную зависимость количества поглощаемых катионов от концентрации органических ионообменников, что позволяет описывать поглощение органическим веществом кальция и магния в терминах уравнения изотермы мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра или уравнения адсорбции Фрейндлиха.

К реакциям обмена ионов водорода и кальция на молекулах гумусовых веществ применим закон действующих масс. Молекулу гуминовой кислоты правомочно рассматривать как высокомолекулярный ионообменник, способный взаимодействовать с ионами кальция в n активных координационных центрах. Если молекула гумусового вещества имеет N активных центров, то $n \leq N$. На практике $n < N$, так как в почвах Калининградской области не достигается такое значение pH, при котором все кислые ионогенные группы находятся в ионизированном состоянии. Константа образования комплекса кальция (K_0) с анионом гуминовой кислоты имеет вид

$$K_0 = \frac{[CaG]}{[Ca^{2+}][G^{x-}]},$$

где $[CaG]$ – концентрация кальций-гуминовых комплексов;
 $[Ca^{2+}]$ – активность кальция в почвенном растворе;
 $[G^{x-}]$ – концентрация не связанных с кальцием гуматов.

Процесс обмена водорода карбоксильных групп на кальций имеет конкурентный характер:



В разбавленных растворах кальциевых солей одна молекула гуминовой кислоты может взаимодействовать одновременно с 23 ионами кальция. В кальций-гумусовом комплексе ион металла координируется двумя ионизированными карбоксильными группами и двумя фенолгидроксильными группами в ионизированном состоянии. Это предположение подтверждается характером зависимости константы образования комплексов кальция с гуминовой кислотой, которая возрастает с увеличением рН раствора в интервале рН 6 – 9, что связано с ростом мольной доли ионизированных фенолгидроксильных групп [Колосов, 1982].

Насыщение почвенного поглощающего комплекса ионами кальция ведет к изменению фракционного и группового состава почвенного органического вещества. Принято, что наиболее оптически плотная часть бурых гуминовых кислот может связывать кальций с образованием гуматов кальция, то есть переходить во вторую фракцию. Однако в литературе встречаются данные, свидетельствующие о независимости выхода подвижных фракций гумусовых веществ от количества внесенного в почву кальция [Титова, Морозова, 1996]. С другой стороны, имеются данные, что кальций способствует сохранению гумусовых веществ в виде гуматов кальция и более сложных органоминеральных соединений. Применение кальцийсодержащих мелиорантов на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах способствует увеличению содержания гумуса на 22 – 37% по отношению к контролю. При этом относительное содержание второй фракции гуминовых кислот возросло в 1,5 – 2,2 раза, а содержание первой фракции гуминовых кислот и всех фракций фульватов снизилось [Гринченко, 1986]. Коэффициент корреляции между содержанием общего органического вещества и уровнем активности ионов кальция для пахотного горизонта дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв составил +0,85 – +0,95. Так как дерново-подзолистые почвы Калининградской области в естественном (неокультуренном) состоянии имеют рН 3,8 – 4,6, что

неблагоприятно для развития абсолютного большинства культурных растений, то практически повсеместно обязательным приёмом для поддержания плодородия пахотных почв является известкование. Процесс взаимодействия мелиоранта с почвенным поглощающим комплексом весьма сложен. Проведённые на дерново-подзолистой супесчаной почве с исходным $pH_{КСЛ} 4,2$ исследования показали, что концентрация ионов водорода в почвенном растворе после известкования описывалась функцией $[H^+] = [H^+]_0 \exp(-t/\tau)$, где $[H^+]$ – концентрация ионов водорода через t суток после известкования; $[H^+]_0$ – исходная концентрация ионов водорода до известкования; $[\tau]$ – среднее время пребывания ионов водорода в почвенном растворе, количество суток [Витковская, Дричко, 2002]. Приведенное авторами уравнение после логарифмирования ($pH = -\lg [H^+]$) превращается в линейную зависимость $pH = pH_0 + t/\tau$, где pH_0 – исходный уровень pH (до известкования).

По вышеприведённым уравнениям можно вычислить время изменения концентрации ионов водорода в два раза (Т): $T = 0,693\tau$. Значения Т и τ определяются количеством и составом присутствующих в почвенном поглощающем комплексе ионообменников, то есть главным образом органическим веществом. Время уменьшения в два раза концентрации ионов водорода для известкованной по 0,25 гидrolитической кислотности почвы составило 17,2 суток, при внесении свежего компоста из твердых бытовых отходов – 7 суток, компоста из твердых бытовых отходов годовичного – 6,9 суток, компоста из осадка сточных вод, торфа и древесных остатков – 25,2 суток. Содержание органического углерода составляло 75,8; 25,7 и 51,7%, содержание кальция – 5,5; 11,8 и 1,3% соответственно.

Зависимость концентрации ионов в почве во всех случаях хорошо описывалась линейной функцией $[Ca^{2+}] = [Ca^{2+}]_0 + bt$, где $[Ca^{2+}]$ – концентрация ионов кальция по прошествии t суток, $[Ca^{2+}]_0$ – исходная концентрация ионов кальция; b – скорость увеличения или уменьшения концентрации кальция в

почве, мг-экв на 100 г почвы в сутки. В первые 109 суток наблюдения концентрация кальция в почве возрастала, причем коэффициент b составил 0,22 для извести; 0,32 – для свежего компоста из твердых бытовых отходов; 0,24 – для годичного компоста из твердых бытовых отходов; 0,23 – для компоста из ОСВ. На 109 сутки концентрация ионов кальция достигла максимума, далее она убывала по линейному закону. В известкованной почве коэффициент b составил 0,015, при применении свежего компоста из твердых бытовых отходов и компоста из осадка сточных вод скорость падения концентрации кальция была несколько выше ($b = -0,017$ и $-0,018$ соответственно). Применение годичного компоста из твердых бытовых отходов позволило снизить скорость потери кальция почти в два раза ($b = -0,008$). Таким образом, внесение гумифицированного органического вещества приводит к существенному повышению эффективности удержания кальция почвенным поглощающим комплексом.

Приведённые данные показывают исключительно важную роль гумифицированного вещества в удержании кальция в верхних горизонтах почвенного профиля и предотвращении его потерь вследствие вымывания. Повышенное содержание гумуса позволяет пролонгировать действие кальцийсодержащих мелиорантов, что ведет к значительному снижению затрат на поддержание плодородия почв за счет увеличения промежутков времени между поддерживающими известкованиями. В целях увеличения эффективности известкования на малогумусных почвах необходимо проведение комплекса мероприятий по повышению содержания гумусовых веществ в почве. При этом надо учитывать глубину гумификации вносимой органики, иначе внесение свежего навоза и компоста может быть неэффективным или, напротив, может спровоцировать усиление элювиальных процессов.

Применение извести и других кальцийсодержащих мелиорантов в бывшей Восточной Пруссии (ежегодно вносилось 0,5 ц СаО на 1 га пашни) на фоне значительных количеств орга-

нических удобрений, главным образом компостов и перепревшего навоза (до 80 ц/га в год) позволило снизить долю сильнонокислых почв с 78% пашни области в 1906 г. до 15% в 1951 г. [Важенин, 1959]. Обогащение кальцием почвенного поглощающего комплекса приводит к структурным перестройкам молекул гумусовых веществ.

В научной литературе [Орлова, Бакина, Плотникова, 1992; Пономарева, Плотникова, 1980] описана протекающая при известковании кислых дерново-подзолистых почв перегруппировка гуминовых кислот, при которой наиболее оптически плотная часть гуминовых кислот первой фракции поглощает кальций и переходит во вторую фракцию. Нашими исследованиями [Рымаренко, Панасин, 2000] показано, что при известковании дерново-слабоподзолистых окультуренных супесчаных почв, а также при внесении фосфоритной муки перегруппировки затрагивают не только первую и вторую фракцию гуминовых кислот. Так, внесение фосфоритной муки вызвало статистически достоверное увеличение относительного содержания трудногидролизуемой (третьей) фракции гуминовых кислот, а также снижение доли негидролизуемых органических веществ.

Перегруппировки имеют, по-видимому, не только химическую, но и микробиологическую природу. Рост содержания относительно доступных фосфатов ведет к активизации деятельности почвенной гетеротрофной микробиоты, а следовательно, к ускорению деструкции и минерализации консервативных гумусовых веществ. При частичной деструкции гуминов образуются более «рыхлые» органоминеральные комплексы, разрушаемые при высокотемпературном щелочном гидролизе, то есть третья фракция гуминовых кислот. Кроме того, в условиях нейтральной реакции почвенного раствора устойчивость кальциевых комплексов с гуминовыми кислотами возрастает за счет ионизации фенолгидроксильных групп. Наиболее прочные кальцийорганические соединения, в которых ион кальция связан не только электростатически, но и

при помощи донорно-акцепторных связей с образованием хелатных координационных комплексов, также пополняют третью фракцию гуминовых кислот.

Внесение сланцевой золы и известняковой муки в дозах, превышающих 1 г. к., также приводит к глубоким перегруппировкам в составе почвенного органического вещества. Отмечается относительный рост растворимых и подвижных гумусовых веществ, значительно снижается содержание негидролизованного остатка: как и при внесении фосфоритной муки, происходит переход части негидролизованного остатка во вторую и третью фракцию гуминовых кислот. При известковании умеренными дозами, не превышающими 1 г. к., содержание фульвокислот значительно снижается, а запасы негидролизованного органического вещества, напротив, возрастают.

3.3. Влияние органического вещества почв на содержание и доступность элементов питания

Обладая высокой химической активностью и емкостью поглощения, гумусовые вещества влияют на накопление в почвах не только щелочноземельных металлов, но и большинства элементов питания растений. Формы связи различных элементов с органическим веществом, а также сродство к гумусу определяются главным образом химическими свойствами рассматриваемых элементов и их соединений. В качестве общей закономерности можно отметить тенденцию неметаллических элементов – азота, фосфора, серы, йода, возможно, и селена – входить в состав гумусовых молекул, тогда как элементы-металлы связываются с органическим веществом по механизму солеобразования и/или комплексообразования.

Чаще всего элементом питания, лимитирующим продуктивность естественных экосистем и сельскохозяйственных угодий, является азот. Взаимосвязь содержания азота, его форм нахождения в почве, доступности для растений и органического вещества рассмотрен в главе 3.1. В почвах Нечерно-

земной зоны весьма часто наблюдается дефицит фосфора. Проблеме фосфора в земледелии посвящено большое количество публикаций. По различным источникам, 40 – 60 % валового фосфора в верхних горизонтах минеральных почв связано с органическим веществом.

Содержание фосфора в молекулах гумусовых веществ изменяется в весьма широких пределах. По данным М.И. Макарова (1997), гуминовые кислоты содержат 0,12 – 1,42% фосфора. Концентрация фосфора в органическом веществе зависит от рН почвы. В кислой среде фосфаты образуют комплексы с алюмоорганическими и железоорганическими соединениями, в нейтральной и слабощелочной среде такие комплексы не образуются. Кроме металлоорганических комплексов в составе фосфоорганических соединений почвы обнаружены фосфонаты, моноэфиры и диэфиры фосфорной кислоты, пиррофосфаты, глюкозо-1-фосфаты и полифосфаты. Среди фосфоорганических соединений преобладают моноэфиры фосфорной кислоты. Их содержание составляет 48 – 89% от общего количества органического фосфора. Эти соединения, в которых остаток фосфорной кислоты связан сложноэфирной связью с гидроксильными группами органической молекулы, в нейтральной и близкой к нейтральной среде стабильны, а в сильнокислой и щелочной – склонны к гидролизу. Имея два кислых (т. е. способных к замещению на металл) атома водорода, моноэфиры фосфорной кислоты являются катионообменниками и кислотами средней силы. Аналогичными свойствами обладают и диэфиры фосфорной кислоты. Глюкозо-1-фосфат является неустойчивым соединением вследствие активного потребления его микробиотой. Пиррофосфаты и полифосфаты неустойчивы к гидролизу, особенно в кислой среде. Эти соединения служат источником доступного для растений фосфора.

Устойчивость алюминий-фосфоорганических комплексов и железо-фосфоорганических комплексов, формирующихся в кислой среде, весьма высока. Кислый гумус в присут-

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

ствии трехвалентных катионов способен необменно фиксировать фосфаты. На это указывает тесная положительная корреляционная связь между содержанием валового фосфора и органического вещества ($r = +0,80 \pm 0,03$) на кислых дерново-подзолистых почвах и отрицательная корреляция между гумусом и подвижным фосфором, определяемым по методу Кирсанова ($r = -0,39 \pm 0,08$). Образование труднорастворимых комплексных соединений является причиной относительно низкой эффективности фосфорных удобрений на кислых почвах.

В условиях нейтральной реакции почвенных растворов такие соединения не образуются. Коэффициент корреляции между гумусом и валовым фосфором на нейтральных почвах составляет лишь $+0,33 \pm 0,05$, а между гумусом и подвижными фосфатами корреляция не обнаружена. Следовательно, на нейтральных почвах гумусовые вещества не способны необменно фиксировать алюминий. Это следует учитывать при составлении баланса фосфора – переход фосфата удобрений в труднодоступную форму будет наблюдаться на кислых почвах, тогда как на нейтральных – учет этой составляющей баланса может привести к заниженному результату.

Общее содержание соединений фосфора в текстурно-дифференцированных почвах имеет максимум в гумусо-аккумулятивных горизонтах, минимум в элювиальных и вторичный максимум в горизонте В₁. Ниже содержание фосфора зависит от обогащенности этим элементом почвообразующей породы. Распределение фосфоорганических соединений коррелирует с содержанием гумуса в горизонтах почвенного профиля. Таким образом, относительное содержание фосфора в составе органических соединений значительно только в верхней 30 – 40-сантиметровой толще почвенного профиля, ниже оно быстро снижается [Макаров, Малышева, Окунева, 1999].

Фульватная часть почвенного органического вещества не содержит фосфор. На это указывает как отсутствие положительной корреляции между содержанием фосфора и фульвокислот, так и модельные эксперименты. Так как средство

фосфора к органическому веществу меньше, чем азота, то корреляционные связи между содержанием органического вещества и подвижного фосфора неоднозначны. При определении подвижного фосфора по методу Кирсанова большая часть фосфоорганических соединений гидролизуеться и фосфор переходит в раствор, тогда как при определении подвижного фосфора в более мягких вытяжках эфиры фосфорной кислоты устойчивы. На дерново-подзолистых почвах нами отмечается корреляция между содержанием определяемого по методу Кирсанова подвижного фосфора и общим гумусом и составляет $+0,53 \pm 0,20$. Коэффициент корреляции подвижного фосфора с первой фракцией гуминовых кислот несколько выше – $+0,61 \pm 0,17$. По-видимому, эфиры фосфорной кислоты и их соли, определяемые при фракционном анализе в составе первой фракции гуминовых кислот, отщепляют в солянокислом растворе остатки фосфорной кислоты.

Известно, что на запасы фосфора в почвах существенное влияние оказывает гранулометрический и минералогический состав. Так как этот фактор в известной мере определяет и фракционный состав органического вещества, то коэффициенты корреляции между содержанием подвижного фосфора и отдельными фракциями гуминовых кислот для почв разного гранулометрического состава отмечаются весьма существенно. На песчаных и супесчаных почвах корреляция между подвижным фосфором и отдельными фракциями гумусовых веществ близка к нулю и недостоверна. Это свидетельствует о равномерном включении фосфата во все гумусовые вещества. На тяжелосуглинистых почвах установлена достоверная положительная корреляция между суммарным содержанием гуминовых кислот и подвижным фосфором ($r = +0,70 \pm 0,23$), а также второй фракцией гуминовых кислот ($r = +0,73 \pm 0,21$). На почвах тяжелого гранулометрического состава количество подвижного фосфора обратно пропорционально относительному содержанию неспецифических органических соединений и кислорастворимых фульвокислот ($r = -0,85 \pm 0,17$).

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

Кроме фосфора в состав молекул гумусовых веществ входит сера. Относительное содержание серы в гумусовых веществах не превышает 1%. Несмотря на это, в абсолютном большинстве почв органическое вещество является главным аккумулятором этого элемента. По данным Т.Н. Кулаковской (1990), в дерново-подзолистых почвах в виде органических соединений находится 88% валовых запасов серы. В гумусовых веществах сера может находиться в виде сульфогрупп $-\text{SO}_3\text{H}$, в виде тиоловых групп $-\text{SH}$, а также в виде сульфидных фрагментов $\text{R}-\text{S}-\text{R}$. Первые две группы могут быть связаны окислительно-восстановительными переходами: $\text{R}-\text{SO}_3^- + 7\text{H}^+ \rightleftharpoons 3\text{H}_2\text{O} + \text{R}-\text{SH}$ или $\text{R}-\text{SO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{R}-\text{S}^- + 6\text{OH}^-$. И сульфогруппа, и меркаптогруппа содержат кислый атом водорода и участвуют в реакциях обмена, причем сульфогруппа проявляет сродство к щелочным и щелочноземельным металлам, а меркаптогруппа – к ионам переходных металлов. В литературе существует точка зрения о недоступности для растений входящей в состав органических молекул серы.

Для питания растений решающее значение имеет сульфатная сера, так как неорганические соединения серы в более низких соединениях токсичны, а содержащие серу аминокислоты – цистеин, метионин и глутатион – присутствуют в почве в очень низких концентрациях. Источниками сульфатной серы в почве являются минерализующееся органическое вещество, а также атмосферные выпадения, так называемые «кислые дожди». Значение последнего заметно снизилось в связи с уменьшением трансграничного переноса окислов серы.

Анализ результатов массового агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий Калининградской области показал существенную прямую связь между содержанием в почвах сульфатной серы и общего органического вещества. Слабогумусированные почвы (содержание органического вещества в пересчете на гумус менее 2%) в среднем содержат сульфатной серы 11,3 мг/кг. В почвах с содержанием гумуса

более 2% количество сульфатной серы возрастает и на высокогумусированных почвах (более 4% гумуса) достигает 13,8 мг/кг почвы. Увеличение содержания гумуса на 1% ведет к росту содержания сульфатной серы в среднем на 1,25 мг/кг, что подтверждает имеющиеся в литературе данные о большом влиянии органического вещества на содержание серы в дерново-подзолистых почвах [Панасин, Слобожанинова, Лопатина, 1997].

Калий, как и другие щелочные металлы, способен образовывать соли с органическими кислотами. Абсолютное большинство таких солей растворимо в воде. Если калий является единственным насыщающим функциональные группы катионом или в состав катионов солей входят, кроме калия, водород, аммоний или щелочные металлы, то такие соли будут водорастворимыми и войдут наряду со свободными органическими кислотами в первую фракцию органического вещества. Если в составе органоминерального комплекса присутствуют высокозарядные катионы, то принадлежность такого комплекса будет определяться количеством и природой многозарядных катионов.

Результаты агрохимического обследования показывают статистически достоверную корреляцию между содержанием обменного калия и общего органического вещества ($r = +0,32 \pm 0,09$). Столь слабая корреляционная связь указывает на то, что органическое вещество является далеко не единственным фактором накопления калия в обменно-поглощенном состоянии. Расчет коэффициентов корреляции содержания обменного калия с отдельными фракциями гумусовых веществ показал, что они зависят от кислотности почв. В кислой среде большинство функциональных групп гумусовых кислот находится в недиссоциированном состоянии (Н-форме). Ионы калия адсорбируются преимущественно алюмосиликатными глинистыми минералами, на это указывает отсутствие достоверной корреляционной связи между содержанием обменного калия и всеми фракциями органического вещества. На слабо-

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

кислых почвах ($pH \leq 5,5$) установлена достоверная корреляционная связь обменного калия с относительным содержанием негидролизованного органического вещества (гумина): $r = +0,48 \pm 0,18$. Так как ион калия обладает очень слабой способностью к комплексообразованию с органическими лигандами [Угай, 1997], то связывание калия по механизму комплексообразования с образованием устойчивых хелатных соединений невозможно. Наблюдаемая корреляционная зависимость может быть объяснена влиянием гранулометрического состава.

Как уже было отмечено выше, относительное содержание негидролизованного органического вещества определяется главным образом гранулометрическим составом (см. главу 2). Содержание калия – как валовое, так и обменно поглощенное – зависит от содержания илистой минеральной фракции, то есть от гранулометрического состава. Таким образом, с увеличением доли тонкодисперсных минеральных фракций почвы возрастает доля негидролизованной части органического вещества и содержание обменного калия, что и дает положительную корреляционную связь между этими двумя величинами.

На нейтральных почвах содержание обменного калия коррелирует с общим углеродом, однако коэффициент корреляции достаточно мал ($r = +0,21 \pm 0,05$). Более тесная корреляционная связь наблюдается между содержанием обменного калия и долей отдельных фракций гумусовых веществ. Так, с первой фракцией гуминовых кислот коэффициент корреляции составляет $+0,57$. Такой же коэффициент корреляции установлен между содержанием обменного натрия и первой фракцией гуминовых кислот. Это указывает на тождественность механизмов связывания ионов калия и натрия первой фракцией гуминовых кислот. Этот механизм – солеобразование с возникновением подвижных гуматов калия и натрия. Образование гуматов щелочных металлов может привести к увеличению подвижности почвенного органического вещества, что

может негативно сказаться на некоторых физических свойствах почвы.

Кроме первой фракции гуминовых кислот, содержание обменного калия коррелирует с некоторыми другими фракциями органического вещества. Отмечена корреляция между содержанием обменного калия и первой фракцией фульвокислот ($r = -0,65 \pm 0,16$). Со второй фракцией гумусовых веществ знак коэффициентов корреляции обратный: с фульвокислотами – положительный ($r = +0,70 \pm 0,14$), а с гуматами кальция – отрицательный ($r = -0,38 \pm 0,14$). Кроме того, отмечается положительная корреляционная связь между содержанием обменного калия и третьей фракцией гуминовых кислот ($r = +0,52 \pm 0,20$). Возможно, калий и гуминовые кислоты являются конкурентами за обменные позиции в кристаллической решетке некоторых глинистых минералов. С другой стороны, вероятно, что повышение степени окультуренности почв ведет к росту содержания обменного калия и изменению группового и фракционного состава гумуса, что и дает существенную корреляцию между некоторыми параметрами гумусового состояния и содержанием обменно поглощенного калия. В целом прямое влияние органического вещества на содержание обменного калия весьма незначительно.

Органическое вещество почв является регулятором форм нахождения ряда рассеянных элементов, в том числе некоторых жизненно важных для растений микроэлементов и тяжелых металлов. Прочность связи между молекулами гумусовых веществ и микроэлементом определяется как природой микроэлемента, так и составом органического вещества. Кроме того, на формы связи рассеянных элементов с гумусом часто оказывают воздействие гранулометрический состав почв, кислотность, водный режим и окислительно-восстановительные процессы. В целом, за немногими исключениями, сохраняется отмеченная выше тенденция: неметаллические элементы склонны входить в состав гумусовых молекул, в то время как элементы – металлы образуют с гумусовыми кислотами гетерополярные и комплексно-гетерополярные соли.

О формах связи бора с гумусовыми веществами имеется мало сведений. В работах латвийских ученых [Пейве, 1980] было установлено, что бор связывается с органическими веществами почвы при участии гидроксильных групп, при этом образуются комплексные соединения, в которых координационное число атома бора равно четырем, а соседями атома бора являются атомы кислорода. По-видимому, прочность связи бора с гумусовыми веществами аналогична прочности комплексов борной кислоты с многоатомными спиртами.

Многими исследователями установлена положительная корреляционная связь между содержанием подвижного бора и органического вещества в разных типах почв некоторых областей Северо-Запада России, а также Эстонии, Латвии, Литвы и Белоруссии. Для дерново-подзолистых почв Калининградской области нашими исследованиями была установлена положительная корреляционная зависимость между общим углеродом и содержанием водорастворимого бора ($r = +0,63 \pm 0,17$). Расчет коэффициентов корреляции между подвижным бором и отдельными фракциями органического вещества показал, что между первой фракцией гуминовых кислот и водорастворимым бором существует положительная корреляционная связь ($r = +0,56 \pm 0,19$), а между первой фракцией фульвокислот и подвижным бором коэффициент корреляции имеет обратный знак. Это подтверждает гипотезу М.М. Кононовой (1963) о том, что при едином механизме взаимодействия ионов металлов со специфическими органическими веществами почв, соединения, образующиеся при реакциях ионов металлов с гуминовыми и фульвокислотами, резко различаются по подвижности. Этот вывод можно отнести и к неметаллическим элементам, образующим с гумусовыми веществами соединения при помощи эфирных связей.

Со второй фракцией гумусовых веществ также установлена статистически достоверная корреляционная связь. Содержание подвижного бора коррелирует с долей второй фракции гуминовых кислот ($r = -0,58 \pm 0,18$) и с содержанием второй фрак-

ции фульвокислот ($r = +0,60 \pm 0,18$). Таким образом, и здесь сохраняется отмеченная выше закономерность: коэффициенты корреляции содержания микроэлемента с гуминовыми кислотами и с фульвокислотами практически одинаковы по модулю, но имеют противоположный знак. Кроме того, коэффициенты корреляции между содержанием водорастворимого бора и гумусовыми веществами различных фракций имеют разный знак. С гуминовыми кислотами первой фракции корреляция положительная, а второй – отрицательная, тогда как с первой фракцией фульвокислот коэффициент корреляции отрицательный, а со второй – положительный. С увеличением содержания трудногидролизуемой фракции гумусовых веществ содержание подвижного бора снижается ($r = -0,53 \pm 0,20$).

Йод обладает достаточно высоким сродством к органическому веществу. По данным З.М. Плотниковой и И.Д. Комиссарова (1987), гуминовые кислоты фиксируют до 46% содержащегося в почве йода, примерно столько же фиксируется фульвокислотами. Характер связи гумусовых кислот с йодом достаточно мало изучен. Учитывая, что молекулы гумусовых кислот имеют конденсированные ароматические ядра, соединенные друг с другом через цепи, имеющие достаточное сопряжение углерод-углеродных связей, обеспечивающих делокализацию части валентных электронов, можно предположить образование π -комплексов между молекулами йода и ненасыщенными фрагментами гумусовых веществ. Помимо того, молекула галогена может присоединяться к кратным углерод-углеродным связям или замещать атом водорода в ароматических фенольных структурах. Связанный таким образом йод становится недоступным для растений, так как ковалентные связи «углерод – йод» отличаются весьма высокой прочностью. Взаимосвязь между содержанием и составом почвенного органического вещества и йода в дерново-подзолистых почвах Калининградской области рассмотрена в работе В.И. Панасина, В.П. Дедкова, Д.А. Рымаренко, Т.А. Саврасовой (2002).

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

Фтор может находиться в почвах в виде фторид-иона в почвенном растворе или обменно-поглощенного базоидными минеральными коллоидами (подвижная форма), а также в виде нерастворимых фторидов, входящих в состав некоторых минералов. Нашими исследованиями установлена статистически достоверная корреляционная связь между содержанием подвижного фтора и долей негидролизованного остатка ($r = +0,65 \pm 0,16$). Видимо, гумины способны связываться с теми минеральными компонентами, которые могут адсорбировать фторид-ион. Вероятно, рост доли прочно связанного с минеральной частью почвы негидролизованного органического вещества приводит к высвобождению необменно фиксированных глинистыми минералами ионов фтора.

Нами не выявлено достоверных корреляционных связей ни между содержанием фтора и общим органическим веществом почв, ни между подвижными фторидами и какой-либо фракцией гидролизованного органического вещества, что свидетельствует об отсутствии зависимости между этими показателями.

Почвы Калининградской области отличаются очень низким содержанием молибдена. По свидетельству литературных источников [Ковальский, Андрианова, 1970; Анспок, 1972], микроэлементы, присутствующие в почве в анионной форме, гораздо слабее адсорбируются почвенным поглощающим комплексом и относительно легко вымываются из почвенного профиля. В условиях Калининградской области процесс выщелачивания усиливается за счет кислой реакции почвенных растворов и специфических условий гидрологического режима – обилия осадков, кратковременного или длительного избыточного увлажнения почв и высокого дренажного стока [Панасин, 1995]. Молибден, находящийся в почвах преимущественно в форме молибдат-иона MoO_4^{2-} , не образует устойчивых соединений с органическим веществом. При развитии в почвах анаэробных процессов возможно восстановление молибдат-ионов в соединения четырех- и пентавалентного молибдена. Такие соединения практически нерастворимы, недоступны для растений.

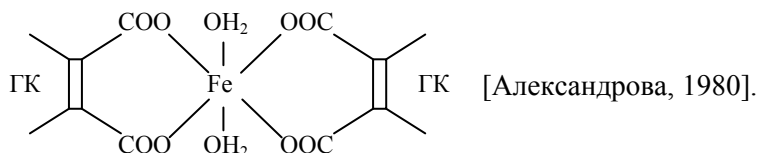
Их взаимодействие с почвенным органическим веществом мало изучено. По данным массового агрохимического обследования почв Калининградской области, корреляция между содержанием в почвах подвижного молибдена и органического вещества не обнаружена. Также отсутствуют корреляционные связи между отдельными фракциями специфических гумусовых веществ и содержанием подвижных форм молибдена. Это подтверждает выводы об отсутствии взаимодействия между молибденом и гумусовыми веществами.

Связывание металлических элементов, находящихся в почве преимущественно в катионной форме, гумусовыми веществами изучено достаточно подробно [Александрова, 1980; Орлов, Минько и др., 1988; Ладонин, Марголина, 1997; Варшал, Кошечева и др., 1998; Вирченко, Агапкина, 1993; Степанова, 1974]. Для переходных металлов первой вставной декады сродство к органическому веществу увеличивается в ряду титан – медь, для цинка сродство к гумусу значительно меньше и сравнимо со щелочно-земельными металлами. Металлы начала вставных декад связываются с органическими кислотами почв преимущественно через кислородсодержащие функциональные группы – COOH; –SO₃H; –OH; в ряду «железо – кобальт – никель – медь» возрастает сродство к азотсодержащим функциональным группам. В этом же ряду возрастает сродство к сульфгидрильным (тиоловым) группам –SH.

В литосфере и педосфере железо является макроэлементом – его содержание в земной коре составляет 5,1 % по массе [Угай, 1997]. Однако для живых организмов, в частности растений, железо является микроэлементом. Коэффициент биологического накопления железа составляет 0,1 [Добровольский, 1998]. Со специфическими гумусовыми веществами железо образует комплексные соединения, устойчивость которых определяется степенью окисления железа и природой органических молекул. Трехвалентное железо образует очень устойчивые комплексно-гетерополярные соли с гумусовыми кислотами, причем ион железа может коорди-

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

нирывать две молекулы гумусовых кислот. В нейтральных почвах возможно образование растворимых комплексов вида



Устойчивость комплексно-гетерополярных солей железа возрастает при увеличении pH среды [Мотузова, Дегтярева, 1993]. В зависимости от химического строения и методов экстракции и анализа из почвы либо извлекаются гуматы и фульваты железа, либо эти комплексные соли растворяются и в вытяжку переходят ионы железа. Нашими исследованиями установлена тесная корреляционная связь между содержанием подвижного железа и общим органическим углеродом ($r = +0,85 \pm 0,08$). Комплексно-гетерополярные соли железа относительно миграционноспособны, особенно в почвах легкого гранулометрического состава. Они перемещаются с нисходящим током почвенных растворов до зон нарушения их устойчивости. При достаточно широком отношении Сфк : Fe фульваты последнего не коагулируют даже в нейтральной среде и железо может выноситься в грунтовые воды за пределы почвенного профиля. Комплексно-гетерополярные гуматы трехвалентного железа как более высокомолекулярные соединения относительно малоподвижны в окислительной среде.

По нашим данным, содержание подвижного железа коррелирует с долей первой фракции гуминовых кислот ($r = +0,75 \pm 0,12$), тогда как с первой фракцией фульвокислот корреляция не обнаружена. Коэффициент корреляции между содержанием подвижного железа и второй фракцией гумусовых веществ в целом близок к нулю и статистически недостоверен. С гуминовыми кислотами второй фракции корреляция статистически достоверна и отрицательна ($r = -0,59 \pm 0,09$), тогда как со второй фракцией фульвокислот корреляция близка по абсолютному значению, но имеет противоположный знак

($r = +0,54 \pm 0,09$). Не обнаруживается достоверной корреляции между содержанием третьей фракции гуминовых кислот и подвижным железом, а также между подвижным железом и третьей фракцией фульвокислот. По-видимому, эти гумусовые вещества не способны к обменному поглощению железа.

Свойства органоминеральных комплексно-гетерополярных железо-гумусовых производных в значительной мере определяются органическим компонентом. Это различие было установлено еще академиком В.Р. Вильямсом: «...ульминовая кислота (первая фракция гуминовых кислот по терминологии И.В. Тюрина, В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой) растворима в воде, образует легко растворимые соли калия и натрия и нерастворимые соли щелочноземельных катионов, алюминия и железа. Креновая кислота (первая фракция фульвокислот в современной терминологии) и все ее соли легко растворимы в воде. Соли апокреновой кислоты с кальцием и закисным железом сравнительно неплохо растворимы в воде. Соль трехвалентного железа растворима в крепкой соляной кислоте без разложения».

Последнее указывает на образование хелатных комплексных соединений между гумусовыми веществами фульватного типа и железом. Это в той или иной степени характерно для всех катионов, образованных переходными металлами, а также алюминием. Ионы трехвалентного железа образуют с гумусовыми веществами ассоциаты, в которых шесть координационных позиций $Fe_{(III)}$ занимают двумя органическими лигандами. При обработке гуматов и фульватов железа этилендиаминтетраацетатом натрия уменьшаются молекулярные массы гумусовых веществ и стоксовы радиусы органических коллоидов, что свидетельствует об ассоциации органических веществ почвы в присутствии ионов трехвалентного железа [Орлов, Минько и др., 1988].

Марганец является весьма близким к железу элементом по химическим свойствам. Практически все (кроме сульфидов)

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

соли двухвалентного марганца растворимы в воде и находятся в почве либо в почвенном растворе, либо в обменно-поглощенном состоянии. Кроме иона Mn^{2+} в почвах находятся окисленные производные марганца, среди которых доминируют гидратированные формы двуокиси марганца. В окислительной (аэробной) среде они химически инертны, но при снижении окислительно-восстановительного потенциала двуокись марганца легко восстанавливается до иона двухвалентного марганца. Основным фактором, определяющим подвижность марганца в почве и доступность его для растений, является окислительно-восстановительный режим. В автоморфных почвах с господством аэробных условий марганец не образует прочных соединений [Ковальский, Андрианова, 1970]. При переходе к почвам полугидроморфного ряда зависимость между содержанием органического вещества и марганца усиливается. В дерново-подзолистых глубокоогулеенных и слабоглееватых почвах содержание органического вещества по сравнению с автоморфными дерново-подзолистыми почвами несколько возрастает. Подвижность марганца в таких почвах несколько увеличивается. Этот элемент, как и железо, в форме гидратированных окислов концентрируется в специфических новообразованиях.

С усилением признаков гидроморфизма кутаны иллювирувания и железо-марганцевые новообразования обогащаются органическим веществом, но относительное содержание марганца в них снижается [Зайдельман, 1998]. Вероятно, ионы двухвалентного марганца образуют соли с гумусовыми кислотами. Модельные эксперименты показывают, что в кислой среде гуминовые кислоты осаждаются двухвалентным марганцем. Также осаждались препараты ульминовой кислоты. При $pH = 7$ ионы марганца осаждались фульвокислотами.

Проведенные в Калининградской области широкомасштабные исследования показали, что при увеличении содержания органического вещества в дерново-подзолистых почвах наблюдается тенденция к снижению содержания и запасов об-

менно-поглощенного марганца, коэффициент корреляции составляет $-0,93$ [Панасин, 1995]. Комплексы марганца с гумусовыми кислотами наименее устойчивы из всех комплексно-гетерополярных солей, образуемых переходными элементами. Из гумусированных аллювиальных почв 84% обменно-поглощенного марганца вытесняется при обработке разбавленными минеральными кислотами (концентрация H^+ 0,1 моль/л). С фульвокислотами первой фракции вымывается лишь 11,7% обменно-поглощенного марганца, а с гуминовыми кислотами первой фракции только 3,7% обменного марганца [Вирченко, Агапкина, 1993]. В более прочно связанных с минеральной частью почвы гумусовых веществах содержание марганца очень мало. По данным В.В. Добровольского, содержание марганца в гуминовых и фульвокислотах из дерново-среднеподзолистой почвы составляет 2,0 и 1,5 мг/кг сухого вещества органической кислоты соответственно. В органических кислотах, выделенных из иллювиально-железистых песчаных подзолистых почв, концентрация марганца находится на том же уровне. В органическом веществе дерново-слабоподзолистых глеевых почв содержание марганца возрастает и составляет 10 мг/кг в гуминовых кислотах и 5 – в фульвокислотах [Добровольский, 1998]. Доля гуматов и фульватов марганца в общем запасе обменного марганца в дерново-подзолистых автоморфных почвах – 2 – 5%, в полугидроморфных (глееватых и глеевых) – 10 – 20%.

Таким образом, основная часть обменно-поглощенного марганца связывается минеральной частью почвенного поглощающего комплекса. На близких к нейтральным и нейтральных дерново-подзолистых почвах нами была выявлена отрицательная корреляционная связь между суммарным содержанием второй фракции гумусовых веществ ($r = -0,59 \pm \pm 0,08$). Близость ионных радиусов Mn^{2+} и Ca^{2+} (0,091 и 0,101 нм соответственно) не исключает изоморфного замещения ионов кальция на ионы марганца. Достоверной корреляционной связи марганца с другими фракциями гумусовых веществ выявлено не было.

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

Гораздо большее сродство к органическому веществу проявляют следующие за марганцем и железом переходные элементы. Прочность комплексов, образуемых двухвалентными катионами с органическим веществом, возрастает в ряду «марганец – железо – кобальт – никель – медь». Цинк не подпадает под эту закономерность, так как ион Zn^{2+} не имеет свободных d-орбиталей, при участии которых происходит образование координационных соединений. Содержание обменно-поглощенных ионов переходных элементов в дерново-подзолистых почвах Калининградской области представлено в таблице 33.

Таблица 33

**Содержание подвижных форм микроэлементов
в дерново-подзолистых почвах с разным количеством гумуса,
мг/кг [Панасин, 1995]**

Гумус, %	n	Cu	Mn	Co	Zn
Менее 2,0	756	2,2±0,035	70±0,8	0,78±0,01	0,42±0,01
2,1 – 3,0	2285	2,4±0,036	65±0,6	0,81±0,01	0,58±0,01
3,1 – 4,0	672	3,0±0,04	61±0,5	0,88±0,02	0,67±0,02
Более 4,0	225	3,4±0,09	58±1,1	0,91±0,02	0,71±0,02

Из вышеприведенных данных видно, что для марганца характерна обратная зависимость концентрации подвижной формы микроэлемента от содержания почвенного органического вещества, для остальных элементов связь прямая.

Кобальт является соседом железа по Периодической системе. В отличие от железа для кобальта степень окисления +2 более устойчива, а соединения трехвалентного кобальта могут существовать только в окислительной среде в форме комплексно-гетерополярных солей. В дерново-подзолистых почвах микроэлемент существует в основном в виде производных двухвалентного кобальта. В комплексных соединениях кобальта с гуминовыми веществами ион металла находится преимущественно в обменно-поглощенном состоянии. Коэффициент корреляции между содержанием обменного кобальта и

общего органического углерода на дерново-подзолистых почвах Калининградской области составляет $+0,86 \pm 0,07$. В несильнонасыщенных почвах при сильноокислой реакции почвенных растворов кобальт образует весьма прочные координационные соединения. Максимальное связывание кобальта наблюдается при $pH = 3$. В нейтральной или близкой к нейтральной среде прочность комплексов ниже, ион кобальта сравнительно легко замещается на другие катионы.

Для выборки окультуренных дерново-подзолистых почв с нейтральной и близкой к нейтральной реакцией нами были рассчитаны коэффициенты корреляции между содержанием обменно-поглощенного кобальта и долей отдельных фракций в общем содержании органического вещества. С первой фракцией гуминовых кислот коэффициент корреляции оказался положительным ($r = +0,63 \pm 0,17$), тогда как с первой фракцией фульвокислот – отрицательный ($r = -0,75 \pm 0,12$). Положительная корреляция наблюдается и между содержанием первой фракции гуминовых кислот и обменно поглощенным железом, что указывает на возможность связывания гуминовыми кислотами ионов этих металлов по единому механизму. Отмечена также достоверная положительная корреляционная связь между содержанием обменно-поглощенного кобальта и долей второй фракции фульвокислот ($r = +0,72 \pm 0,14$). По литературным данным, при комплексообразовании кобальта с гумусовыми кислотами максимальное связывание кобальта гуминовыми кислотами происходит при $pH = 3$, а фульвокислотами – при $pH = 6,5 - 8,0$ [Симаков, Пилипушко, 1973]. Относительно высокий коэффициент корреляции между содержанием обменного кобальта и фульвокислот в нейтральных почвах подтверждает устойчивость кобальт-фульватных комплексов в нейтральной среде. При подкислении кобальт-фульватные комплексы разрушаются, кобальт переходит в раствор в форме двухзарядного иона Co^{2+} , а органическая кислота – в Н-форму.

Степень подвижности кобальта, то есть отношение его обменно-поглощенной формы к валовому содержанию в почве,

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

зависит не только от содержания органического вещества, но и от гранулометрического состава, а также от водного режима. Нами установлена достоверная при уровне значимости 0,01 корреляция содержания обменно-поглощенного кобальта и негидролизуемого органического вещества ($r = +0,83$). Столь тесная корреляционная связь указывает на существенную связь подвижности кобальта с гранулометрическим составом. Особенности водного режима, преобладание аэробных или анаэробных условий в почвах оказывает влияние на прочность кобальторганических соединений. По данным В.В. Добровольского (1998), фульвокислоты дерново-подзолистых автоморфных почв связывают 1,4 мг Со на килограмм сухого веса, гуминовые кислоты – лишь 0,2 мг. В полугидроморфных дерново-подзолистых глеевых почвах килограмм гуминовых кислот удерживает 0,4 мг кобальта, а фульвокислот – 0,9 мг. Следовательно, с увеличением переувлажнения способность фульвокислот связывать кобальт снижается, а гуминовых кислот – возрастает.

Сродство органического вещества к меди выше, чем у остальных переходных металлов. Медь связывается в основном специфически, то есть за счет донорно-акцепторного взаимодействия. В комплексообразовании с медью принимают участие не только кислотные карбоксильные и фенольные группы, но и аминокислоты, амидные фрагменты и другие азотсодержащие функциональные группы. В целом накопление гумуса приводит к увеличению валовых запасов меди в верхних горизонтах дерново-подзолистых почв, однако, увеличение содержания подвижной формы микроэлемента отстает от роста его валового содержания [Панасин, Слободянинова, 2003]. Нашими исследованиями была установлена отрицательная корреляционная зависимость между коэффициентом подвижности меди и общим содержанием органического вещества ($r = -0,25$). Тем не менее увеличение содержания органического вещества ведет к некоторому возрастанию количества подвижной меди (табл. 34).

**Содержание подвижной меди в зависимости
от гумусированности на разных типах почв, мг/кг**

Тип почвы	Гумус, %							
	< 2,0		2,1 – 3,0		3,1 – 4,0		> 4,0	
	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$
Дерново- подзоли- стая	636	2,2±0,03	784	2,4±0,03	540	3,0±0,04	258	3,4±0,09
Дерновая	182	3,3±0,09	265	4,6±0,11	142	6,1±0,19	168	7,4±0,18
Аллюви- альная	19	6,4±0,88	165	8,6±0,16	125	9,7±0,21	36	9,9±0,38

Влияние органического вещества на подвижность меди прослеживается на почвах различного гранулометрического состава. Если в песчаных почвах при увеличении содержания органического вещества вдвое содержание подвижной меди возрастает на 38,1%, то в глинистых – на 25%. Фракционный состав органического вещества также оказывает воздействие на подвижность меди и ее накопление в почвах. По нашим данным, содержание подвижной меди коррелирует с долей первой ($r = -0,37$), а также со второй и третьей фракциями гуминовых кислот ($r = +0,40$ и $r = +0,50$ соответственно). С фульвокислотами фракций 1а и 1 коэффициент корреляции невелик ($r = +0,32$), а с третьей фракцией фульвокислот корреляция отрицательна ($r = -0,70$).

С увеличением содержания фульвокислот, сужением отношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот отношение подвижной меди к ее общему содержанию снижается. Также понижается подвижность меди с ростом доли свободных гуминовых кислот и гуматов одновалентных металлов. В целом в отличие от рассмотренных выше ионов переходных металлов медь проявляет более высокое сродство к относительно прочно связанным гумусовым веществам.

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

Цинк находится в дерново-подзолистых почвах преимущественно в прочносвязанном состоянии, в котором этот элемент недоступен для растений. В высокогумусированных почвах содержание цинка увеличивается, также возрастает и содержание обменно-поглощенного цинка. Коэффициент корреляции между содержанием валового цинка и органического вещества составляет $+0,81 \pm 0,10$, а между обменно-поглощенным цинком и общим органическим углеродом – $+0,69 \pm 0,15$. По данным В.В. Добровольского (1998), гуминовые кислоты автоморфных дерново-подзолистых почв связывают 16 мг цинка на килограмм сухого органического вещества, а фульвокислоты – до 150 мг. В полугидроморфных почвах способность органического вещества связывать ионы цинка несколько меньше.

Зависимость содержания валового и обменно-поглощенного цинка от органического вещества изменяется в связи с кислотностью почвенных растворов. В близких к нейтральным и нейтральных почвах теснота корреляционных связей между содержанием цинка и органического вещества существенно ослабевает ($r = +0,34$ для валового цинка и $r = +0,40$ для подвижной формы). В зависимости от гранулометрического состава и насыщенности почвенного поглощающего комплекса прочность связей цинка с различными фракциями гумусовых веществ изменяется.

В нейтральных дерново-подзолистых почвах содержание обменно-поглощенного цинка коррелирует с долей первой фракции гуминовых кислот ($r = +0,31$), и гуматов кальция и магния ($r = -0,31$). Отрицательный коэффициент корреляции со второй фракцией гуминовых кислот может объясняться конкуренцией ионов щелочноземельных металлов и цинка за функциональные группы органических молекул.

Подвижность цинка, то есть отношение обменно-поглощенного цинка к его общему содержанию, в целом изменяется аналогично содержанию его обменно-поглощенной формы. Коэффициент подвижности цинка коррелирует с первой фракцией гуминовых кислот ($r = +0,38$), с третьей фракцией фуль-

вокислот ($r = +0,44$), с суммарным содержанием непосредственно извлекаемого гумуса. Отсутствие тесной корреляции содержания валового подвижного цинка с общим содержанием органического вещества и отдельными фракциями гумусовых веществ указывает на преобладание неспецифического (по механизму образования простых солей) связывания цинка почвенным гумусом.

Ряд химических элементов, попадаемых под понятие «тяжелые металлы», находятся в почве в связанном состоянии. Имобилизация тяжелых металлов, то есть их переход в относительно недоступные для растений формы, происходит при участии органического вещества почвы. Для катионных форм тяжелых металлов характерны те же закономерности, что и для находящихся в катионной форме микроэлементов. С повышением степени окисления металла увеличивается его способность к комплексообразованию и возрастает устойчивость металл-гумусовых комплексно-гетерополярных солей. Элементы шестого периода Периодической системы проявляют большее сродство к органическому веществу, чем их более легкие аналоги.

Нами были изучены корреляционные связи между содержанием некоторых тяжелых металлов и органического вещества в окультуренных дерново-подзолистых почвах Калининградской области. Ванадий обнаруживает относительно высокое сродство к гуминовым кислотам. Коэффициенты корреляции между содержанием ванадия и суммарным содержанием гуминовых кислот не зависят от гранулометрического состава, но связаны с водно-воздушным режимом почв. Для автоморфных дерново-подзолистых почв коэффициент корреляции составляет $+0,64 \pm 0,16$, для дерново-подзолистых глеевых и дерново-глеевых он гораздо выше – $+0,89 \pm 0,08$. В окислительной, аэробной среде ванадий существует в основном в форме аниона VO_3^- или более сложных анионов поливанадиевых кислот. Их свойства близки к свойствам метафосфатов и полифосфатов. По-видимому, в аэробной среде формы связи

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

ванадия с гуминовыми кислотами аналогичны связям фосфора, то есть остаток ванадиевой кислоты входит в состав молекулы гуминовой кислоты через сложноэфирные связи со спиртовыми гидроксогруппами.

В анаэробной среде производные пятивалентного ванадия легко восстанавливаются до катиона V^{3+} . Этот катион имеет отношение заряда к радиусу близкое к катионам Al^{3+} и Cr^{3+} . В силу наличия двух электронов на d -орбиталях катион V^{3+} является хорошим комплексообразователем. Свойства и миграционная способность комплексно-гетерополярных солей V^{3+} близки к свойствам гуматов алюминия и трехвалентного железа.

Хром существует в почвах в форме производных катиона Cr^{3+} и аниона CrO_4^{2-} . Первые стабильны в восстановительных условиях, а также в аэробной кислой среде. Хроматы устойчивы в аэробных условиях при нейтральной или щелочной реакции почвенных растворов. С органическим веществом активно взаимодействуют производные трехвалентного хрома. Корреляция между содержанием хрома и органическим веществом на дерново-подзолистых почвах достаточно тесная ($r = +0,79$). Как и для ванадия, для хрома комплексно – гетерополярные гуматы гораздо устойчивее фульватных производных. Коэффициент корреляции между содержанием хрома и суммой гуминовых кислот составляет $+0,84$, а между содержанием третьей фракции гуминовых кислот и хромом – $+0,90$. Столь высокие коэффициенты корреляции указывают на специфическое связывание катионов Cr^{3+} гуминовыми кислотами с образованием весьма устойчивых комплексов. Вероятно, катионы хрома могут вызывать полимеризацию гуминовых кислот, служа «мостиками» между двумя органическими молекулами. Образование простых солей с гуминовыми кислотами для хрома нехарактерно, на что указывает отсутствие достоверной корреляционной зависимости между содержанием хрома и первой фракцией гуминовых кислот.

С гумусовыми веществами фульватной природы ионы хрома не образуют стабильных соединений, возможно лишь связывание небольших количеств хрома свободными фульвокислотами,

при этом возникающие комплексы не утрачивают подвижность. Коэффициент корреляции между содержанием хрома и суммой кислоторастворимой и подвижной фракции фульвокислот составляет +0,63. По данным Е.П. Вирченко и Г.И. Агапкиной (1993), с первой фракцией фульвокислот вымывается 39,7% хрома. Напротив, коэффициент корреляции между второй фракцией фульвокислот и содержанием хрома составляет -0,91.

Свойства соединений никеля близки свойствам его соседей по Периодической системе – кобальта и меди. С гумусовыми веществами никель образует довольно устойчивые соединения. Коэффициент корреляции между валовым содержанием никеля и органическим углеродом весьма высок ($r = +0,64$). В почве существуют производные катиона Ni^{2+} , которые устойчивы в широком диапазоне рН как в аэробных, так и в анаэробных условиях. В кислой среде гуматы никеля относительно малоустойчивы, тогда как в нейтральной среде их устойчивость повышается. Коэффициенты корреляции между содержанием никеля и суммой гуминовых кислот на нейтральных дерново-подзолистых почвах составляет +0,51, коэффициент корреляции между третьей фракцией гуминовых кислот и содержанием никеля несколько ниже – +0,43. Со второй фракцией гуминовых кислот коэффициент корреляции близок к нулю и статистически достоверен.

Связь содержания никеля с долей фульвокислот в нейтральных почвах весьма слабая. С подвижными фульвокислотами и второй их фракцией коэффициенты корреляции оказались близкими к нулю и недостоверными. По общей выборке дерново-подзолистых почв коэффициент корреляции между подвижными фульвокислотами и общим содержанием никеля составил $-0,58 \pm 0,08$. Сродство никеля к гумусовым веществам и устойчивость образующихся соединений снижаются в ряду «гумин – гуминовые кислоты – фульвокислоты».

Свинец находится в почвах как в составе органоминеральных комплексов, так и в форме гидратированных окислов, адсорбирующихся на поверхности минеральных коллоидов. Ко-

3.3. Влияние органического вещества почв на элементы питания

Эффективность биологического поглощения свинца растениями ниже, чем у большинства тяжелых металлов [Добровольский, 1998]. Сродство свинца к гумусовым веществам существенно ниже, чем сродство к гумусу большинства ионов переходных металлов. В силу отсутствия вакантных *d*-орбиталей свинец является относительно слабым комплексообразователем. Аккумуляция свинца в гумусовых кислотах протекает тем интенсивнее, чем меньше микробиологическая активность почв. В условиях интенсивной, почти круглогодичной микробиологической деятельности в почвах Калининградской области свинец переходит в легколетучее соединение тетраметилсвинец, которое удаляется в атмосферу. В нейтральных окультуренных дерново-подзолистых почвах коэффициент корреляции между валовым содержанием свинца и общим гумусом составляет +0,38.

Расчеты корреляционных связей между содержанием свинца и отдельными фракциями гумусовых веществ показали, что ни одна из фракций гумуса не связывает специфически этот элемент. Исследования Е.П. Вирченко и Г.И. Агапкиной (1993) показали, что в гумусовом горизонте аллювиальной почвы большая часть свинца находится в связи с гуминовыми кислотами: 47,6% – с первой фракцией, 23,4 – со второй. С подвижными фульвокислотами связано 20,4% свинца, содержание свинца в прочносвязанных гумусовых веществах очень низкое, однако распространять эти закономерности на автоморфные окультуренные почвы нельзя в силу высокой биологической активности последних.

Сродство ртути к органическому веществу весьма высоко – коэффициент корреляции между содержанием ртути и органическим веществом составляет $+0,88 \pm 0,06$. Прочность связи ртути с гуминовыми веществами убывает в ряду «гуминовые кислоты – фульвокислоты». При высокой микробиологической активности возможно образование летучего органического производного ртути $-\text{CH}_3\text{-Hg-CH}_3$, которое удаляется из почвы в атмосферу. В кислых почвах, где микробиологическая деятельность относительно менее интенсивна, ртуть активно

захватывается гумусовыми веществами. Коэффициенты корреляции между содержанием бурых гуминовых кислот и валовой ртути составляет $+0,63 \pm 0,07$, между второй фракцией фульвокислот и валовой ртутью $-+0,66 \pm 0,08$. Эти фракции органического вещества имеют наибольшее сродство к ртути.

В нейтральных почвах с повышением содержания органического вещества прочность ртуть-гумусовых комплексов значительно снижается вследствие активного микробиологического метилирования ртути с последующим удалением диметилртути в атмосферу. В этом отношении поведение ртути сходно со свинцом. Рассчитанные нами коэффициенты корреляции содержания валовой ртути и отдельных фракций органического вещества не превышали по модулю 0,45 и в большинстве своем были статистически недостоверными. Это подтверждает неустойчивость соединений ртути с почвенным органическим веществом в условиях высокой микробиологической активности.

Таким образом, специфические органические вещества почвы оказывают значительное, а в ряде случаев и определяющее воздействие на формы нахождения, доступность для растений и миграционную способность многих химических элементов. Для большинства элементов-органогенов и элементов-биофилов почвенный гумус является главным аккумулятором и резервуаром, обеспечивающим высокую замкнутость биологического круговорота в естественных ландшафтах. Изменяя количество гумусовых веществ и трансформируя их групповой и фракционный состав, можно достичь избирательного накопления отдельных элементов в биогеоценозе или, наоборот, стимулировать вынос некоторых элементов из почвенного профиля с нисходящим током почвенных растворов. Способность органического вещества в целом и отдельных его фракций фиксировать элементы питания в относительно доступных для растений формах и вместе с тем предотвращать или снижать их потери вследствие вымывания определяет важнейшую экологическую функцию почвенного органического вещества.

4.1. Баланс гумуса

Исключительная роль почвенного агрохимического вещества, в особенности его специфической части (т. е. гумуса), в качестве средообразующего фактора для растений делает особенно актуальной проблему сохранения и воспроизводства его запасов в корнеобитаемой части почвенного профиля. Проблема расчета баланса почвенного органического вещества, поставленная много десятилетий тому назад, до сих пор однозначно не решена.

В большинстве литературных источников указывается на значительные потери органического вещества при распашке дерново-подзолистых почв. Через 12 – 13 лет под сельскохозяйственными культурами дерново-подзолистая почва теряет около 36% гумуса [Кононова, 1963]. Этот процесс с активной минерализацией гумусовых веществ, так как количество микроорганизмов при распашке дерново-подзолистых почв повышается в 6 – 12 раз [Макунина, 1990]. В старопашотных почвах потери гумуса замедляются, содержание гумуса стабилизируется на крайне низком уровне, зависящим от содержания в почве физической глины. Потери гумуса в интенсивно распахиваемых почвах происходят в тех случаях, если применяемая система земледелия не предусматривает необходимого пополнения органического веще-

ства почвы за счет вносимых органических удобрений или пожнивно-корневых остатков.

Для определения баланса органического вещества и гумуса в почвах используют методы прямого определения по результатам полевых опытов и почвенно-агрохимического обследования и расчетные методы, основанные на изучении баланса азота в агроэкосистемах, на определении гумусовых единиц и потоков (прихода и расхода) органического углерода. Традиционно используемые методы расчета баланса гумуса дают лишь приближенную оценку реальной динамики органического вещества в почвах [Ганжара, 2001]. Общепринятого расчетного метода баланса гумуса, дающего хорошую сходимость результатов с опытными значениями в широком диапазоне почвенно-климатических условий и возделываемых сельскохозяйственных культур, в настоящее время не существует.

В практике Центров агрохимической службы Нечерноземной зоны России используется комбинированный метод расчета баланса гумуса. Расходную часть баланса определяют по выносу азота урожаем сельскохозяйственных культур, а приходную – через массу пожнивно-корневых остатков. Рекомендуется следующий порядок определения.

Запас гумуса в пахотном поле севооборота определяется по формуле

$$P = G \cdot П \cdot Д,$$

где P – запасы гумуса в пахотном горизонте, т/га;

G – содержание гумуса в % по массе;

$П$ – мощность пахотного горизонта, мм;

$Д$ – объемная масса почвы, г/см³.

В среднем для Калининградской области объемная масса пахотного слоя дерново-подзолистых почв равна (в г/см³):

– в песчаных и супесчаных – 1,4;

– в легкосуглинистых – 1,3;

– в средне-, тяжелосуглинистых и глинистых – 1,2.

Расходная часть баланса органического вещества определяется по величине потерь гумуса вследствие его минерализации. Расчет потерь органического вещества ведется по формуле

$$B_2 = 0,001 \cdot Y \cdot K \cdot K_m \cdot 20 \cdot C,$$

где B_2 – минерализованный гумус, т/га;

Y – урожайность, т/га;

K – вынос азота на 1 т продукции и растительных остатков, кг (приложение 1);

K_m – коэффициент минерализации азота почвы;

20 – коэффициент пересчета азота в гумус;

C – поправочный коэффициент в зависимости от гранулометрического состава.

Поправочный коэффициент C для расчета минерализации гумуса для тяжелосуглинистых и глинистых почв имеет значение 0,8; для среднесуглинистых почв – 1,0; для легкосуглинистых – 1,2; для супесчаных – 1,4; для песчаных – 1,8. При использовании орошения коэффициент C становится равным 1,4, независимо от гранулометрического состава.

Приходная часть баланса органического вещества складывается из новообразующегося органического вещества вследствие гумификации растительных остатков и органических удобрений. Расчет ведется по формуле

$$P_2 = M \cdot K_2 + OY \cdot K_2,$$

где M – масса пожнивно-корневых остатков, т/га;

OY – дозы органического удобрения, т/га;

K_2 – коэффициент гумификации растительных остатков и удобрений.

Масса пожнивно-корневых остатков рассчитывается исходя из урожайности сельскохозяйственных культур (приложение 2) или более точно по уравнениям регрессии (приложение 3). Дозы органического удобрения пересчитываются на стандартный

подстилочный навоз. Для этого используют следующие коэффициенты пересчета:

- бесподстилочный навоз полужидкий (влажность < 92 %) – 0,5;
- бесподстилочный навоз полужидкий (влажность 93 – 97 %) – 0,25;
- птичий помет – 1,4;
- торфо-навозные компосты – 1,5;
- торфо-пометные, лигнино-пометные и коро-пометные компосты – 2,0;
- солома – 0,8;
- сидеральные удобрения (при естественной влажности) – 0,25.

Коэффициенты гумификации пожнивно-корневых остатков в зависимости от культуры, вида органического удобрения и гранулометрического состава почвы представлены в приложении 4.

Приведем расчет баланса гумуса для пахотной дерново-слабоподзолистой легкосуглинистой почвы на примере двух севооборотов (табл. 35; 36).

Таким образом, на легкосуглинистой почве при внесении 9 т/га органических удобрений в травопольном севообороте обеспечивается положительный баланс органического вещества, равный 500 кг/га за севооборот. Отказ от внесения органики в таком севообороте привел бы к бездефицитному балансу гумуса. В насыщенном картофелем и силосными севообороте отказ от применения органических удобрений привел бы к отрицательному сальдо баланса, равному 200 кг/га. Для компенсации такого дефицита органического вещества необходимо вносить органические удобрения в дозе 3,1 т/га в пересчете на стандартный подстилочный навоз. Следовательно, бездефицитного баланса гумуса можно достичь, если отказаться от внесения органических удобрений под силосные культуры и снизить дозу навоза под картофель до 20 т/га.

Таблица 35

№ поля, учас-ток	Культура	Пло-щадь, га	Урожа-йность, ц/га	Потери гумуса, т		Накопление гумуса, т/га				Баланс гумуса, т/га	
				с 1 га	со всей площади	Выход сухой массы растительных остатков	Гумус из растительных остатков	Органические удобрения		на всей площади	на 1 га
								т/га	гумус		
I	Всего	93	-	1,7	159,6	-	-	-	0,9	80,7	-
1, 2	Силосные	63	300,0	2,2	138,6	5,1	0,9	-	0,9	96,7	-1,3
	Однолетние травы	30	170,0	0,7	21,0	4,2	0,8	-	0,8	24,0	+0,1
II											
3, 4I	Озимая рожь	101	34,0	1,2	121,2	4,1	0,7	-	0,7	70,7	-0,5
III											
5-8	Овес	124	28,6	1,4	173,6	4,0	0,7	-	0,8	86,8	-0,7
IV											
9, 10	Однолетние травы	102	170	0,7	71,4	4,2	0,8	-	0,8	81,6	+0,1
V											
11, 12	Озимая пшеница	108	34,0	1,5	162,0	4,8	0,9	-	0,9	97,2	-0,6
VI											
13	Травы 2-го года	112	45,0	0,2	22,4	8,1	1,5	-	1,5	168,0	+1,3
VII											
14-17	Озимая пшеница	100	34,0	1,5	150,0	4,8	0,9	80	4,0	340,0	+1,9
VIII											
18-20	Ячмень + травы	113	28,6	1,0	109,3	4,0	0,7	50	2,5	361,6	+2,2
IX											
21-23	Травы 1-го года	107	45,0	0,2	21,4	8,1	1,5	-	1,5	160,5	+1,3
X											
24	Всего	133	-	0,6	78,6	-	-	-	1,3	175,5	-
	Травы 3-го года	93	45,0	0,2	18,6	8,1	1,5	-	1,5	179,5	+1,3
	Озимая пшеница	40	34,0	1,5	60,0	4,8	0,9	-	0,9	36,0	-0,9
	Итого по севообороту	1093	-	1,0	1069,5	-	-	9	1,5	1622,6	+0,5

Таблица 36

№ поля, участок	Культура	Площадь, га	Урожайность, ц/га	Кормовой севооборот										Баланс гумуса, т/га
				Потери гумуса, т				Накопление гумуса, т/га						
				с 1 га	со всей площади	Выход сухой массы растительных остатков	Гумус из растительных остатков	Органические удобрения т/га	гумус	на 1 га	на всей площади	Всего гумуса		
I	Всего	109	—	1,3	139,8	—	—	—	—	—	—	3,0	325,1	—
1-5	Картофель	100	130,0	1,2	120,0	2,1	0,4	50	2,5	2,9	290,0	2,9	290,0	+1,7
	Силосные	9	300,0	2,2	19,8	5,1	0,9	60	3,0	3,9	35,1	3,9	35,1	+1,7
II	Озимая пшеница	107	34,0	1,5	160,5	4,8	0,9	—	—	—	—	0,9	96,3	-0,6
III	Ячмень	106	28,6	1,0	106,0	4,0	0,7	—	—	—	—	0,7	74,2	-0,3
IV	Всего	100	—	1,2	119,8	—	—	—	—	—	—	2,3	227,5	—
12,13	Зернобобовые	52	20	—	—	3,2	0,7	—	—	—	—	0,7	36,4	+0,7
14	Силосные	15	300,0	3,0	45,0	5,1	0,9	60	3,0	3,9	58,5	3,9	58,5	+0,9
15	Силосные	34	300,0	2,2	74,8	5,1	0,9	60	3,0	3,9	132,6	3,9	132,6	+1,7
V	Всего	102	—	0,3	32,2	—	—	—	—	—	—	0,7	68,6	—
16,17	Бобы	88	20,0	—	—	3,2	0,7	—	—	—	—	0,7	61,6	+0,7
	Корнеплоды	14	330,0	2,3	32,2	2,6	0,5	—	—	—	—	0,5	7,0	-1,8
VI	Люцерна	128	170,0	0,2	25,6	8,1	1,5	—	—	—	—	1,5	192,0	+1,3
18	Итого по севообороту	652	—	0,9	583,9	—	—	13	—	—	—	1,5	983,7	+0,6

Расчеты показывают, что вычисленный по приведенной методике баланс гумуса на пахотных угодьях в среднем по области составляет – 60 кг/га в год. Для компенсации отрицательного сальдо баланса требуется вносить на 1 га пашни 920 кг органических удобрений в пересчете на стандартный подстилочный навоз. В «Рекомендациях по использованию баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв» для дерново-подзолистых почв центра Нечерноземной зоны рекомендуется внесение навоза в суглинистые почвы в дозах не менее 10 т/га в год, в супесчаные – 12 – 15. В Белоруссии рекомендованные БелНИИПА дозы органических удобрений для дерново-подзолистых супесчаных почв составляют 12 – 13 т/га в год, для суглинистых – 8 – 9.

Столь значительные расхождения между нашими расчетами и рекомендациями, выработанными в сельскохозяйственных НИИ в 80-х гг. можно объяснить следующими причинами. Во-первых, рекомендации 80-х гг. разрабатывались с целью расширенного воспроизводства гумуса, то есть достижения не близкого к нулю, а положительного сальдо баланса гумуса. В современных экономических условиях расширенное воспроизводство органического вещества может быть оправдано только на почвах, где содержание гумуса ниже критического. Во-вторых, существующие методы расчета баланса гумуса дают лишь весьма приблизительную оценку реальных процессов гумусообразования и расхода почвенного органического вещества [Ганжара, 2001].

При решении проблемы целесообразности расширенного воспроизводства органического вещества почв необходимо использовать критерии минимального, оптимального и максимального содержания гумуса в почве.

Минимальное содержание определяется на опытных полях при длительном паровании или многолетним возделывании сельскохозяйственной культуры без удобрений, когда почва практически перестает терять гумус [Шишов, Дьяконова, Ти-

това, 1987]. Максимальное содержание гумуса определяется величиной, при которой повторное внесение органических удобрений в дозах, значительно превышающих компенсирующие, не сопровождается (в условиях принятой системы земледелия) дальнейшим увеличением содержания гумуса. Эти критерии очевидны и бесспорны, в отличие от понятия «оптимальное содержание гумуса».

Оптимальное содержание гумуса – это такое его количество, которое обеспечивает устойчивое получение урожая сельскохозяйственных культур, отвечающего биоклиматическому потенциалу региона, а также сохраняет основные параметры, характеризующие плодородие данного типа почвы [Рекомендации..., 1984]. Оптимальное содержание гумуса в почве зависит от биологических особенностей культур и характеризуется определенной зоной, нижние границы которой расширяются по мере улучшения агрохимических свойств почвы. Кроме того, оптимальное содержание гумуса зависит от технологий возделывания сельскохозяйственных культур. При экстенсивных технологиях с низким уровнем химизации оптимальный уровень содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах составляет 3% и более. Интенсификация земледелия ослабляет взаимосвязь между содержанием гумуса в почве и урожайностью, поскольку при применении повышенных доз удобрений уменьшается роль гумуса как источника элементов питания растений [Жуков, 1991].

При высоком уровне интенсификации земледелия уменьшается физико-химический аспект влияния органического вещества на плодородие почв, а биологический и экологический аспекты – преодоление пестицидной нагрузки, связывание токсичных элементов, перевод в поглощенное состояние поступающих из удобрений элементов питания – выходят на первый план. Весьма важными являются также энергетический и экономический аспекты. При интенсивном земледелии затраты механической энергии на обработку почвы в значительной мере определяются гумусовым состоянием.

Оценки оптимального содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах, по данным разных источников, различаются в 2,5 – 3 раза.

Интересна методика определения оптимального содержания гумуса в почвах, используемая в Германии. Содержание инертного, или консервативного гумуса, практически не участвующего в процессах трансформации органического вещества, тесно коррелирует с содержанием частиц физической глины (менее 6,3 мкм) [Айх, Кершенс, 1989]. Для песчаных почв, не испытывающих влияния грунтовых вод, содержание углерода инертного органического вещества $C_{ин}$ составляет $\% r \cdot 0,04$, а для суглинистых почв – $\% r \cdot 0,045$, где $\% r$ – содержание физической глины в процентах. Для расчета нормативных значений содержания органического вещества, обеспечивающего плодородие почв, к величине содержания инертного органического вещества необходимо прибавить величину содержания углерода легкоразлагающихся органических веществ, которая составляет 0,30% для аморфных почв и 0,65 – для полугидроморфных.

В пересчете на гумус содержание инертного органического вещества рассчитывается путем умножения содержания физической глины на 0,07, а оптимальное содержание должно соответствовать его минимальной величине, увеличенной на 0,5% для сухих условий и на 0,7 – для влажных условий [Kundler, Drechsler, Kühn, 1982]. В силу близости с природно-климатическими условиями Восточной Германии эти нормативы можно распространить и на Калининградский регион. Таким образом, для автоморфных супесчаных дерново-подзолистых почв Калининградской области оптимальное содержание гумуса составляет 1,6 – 1,9%, для легкосуглинистых – 1,9 – 2,6, для среднесуглинистых – 2,6 – 3,3, для тяжелосуглинистых – 3,3 – 4,0. Для дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв различного гранулометрического состава указанные величины должны быть увеличены на 0,2%, то есть оптимальное содержание гумуса в супесчаных почвах составляет 1,8 – 2,1%, в легкосуглинистых – 2,1 – 2,8 и т. д. Если содержание

гумуса в почве ниже нормативных значений, то для достижения требуемого уровня органического вещества необходимо дополнительное внесение органических удобрений или изменение структуры севооборота, приводящее к повышению количества пожнивно-корневых остатков.

Погрешность используемого метода определения содержания органического вещества значительно превышает ежегодное поступление или убыль гумуса. Исследования, проведенные на полях систематического мониторинга, показали, что изменение определяемого органического вещества слабо коррелирует с расчетным сальдо баланса гумуса (табл. 37).

Как видно из данных таблицы 37, экспериментально определяемый запас гумуса в пахотном горизонте и расчетное сальдо баланса не совпадают, а в некоторых случаях имеют разный знак. За 17 лет наблюдений экспериментально определенная величина изменения запаса гумуса составила +4,2 т/га, а расчетная – +5,13. Удовлетворительное совпадение результатов экспериментальных данных с вычисленным балансом органического вещества дает основание использовать указанный метод для оценки изменения запасов гумуса за достаточно значительный период – 12 – 15 лет и более. Однако данный метод не дает возможности судить о тенденциях и динамике почвенного гумуса за короткие временные интервалы.

Используемый метод расчета баланса гумуса основан на уравнении $G = G_0 + P - B_s$, где G – запас гумуса в т/га в конце периода наблюдений; G_0 – запас гумуса в начале наблюдений; P – приход гумуса за период наблюдений; B_s – вынос гумуса за период наблюдений. В статье «Приход» учитывается только поступление гумуса за счет гумификации растительных остатков. По мнению А.Д. Фокина (1987), к приходным составляющим гумусового баланса кроме поступления «свежего» гумуса относятся также поверхностный привнос гумусовых веществ в составе тонкодисперсного материала почвы в результате поверхностного (на склонах) или речного (в поймах) стока, а также эоловое переотложение гумусированного материала в результате ветровой эрозии. В условиях Калининград-

ской области на подавляющем большинстве пахотных угодий величина намыва эолового поступления органического вещества равна нулю или составляет пренебрежимо малую величину. Тем не менее почвы легкого гранулометрического состава могут подвергаться ветровой эрозии, а суглинистые – преимущественно слабому плоскостному смыву [Терентьева, 2001]. Для более точной оценки приходных составляющих гумусового баланса на небольших по площади участках эрозионный привнос и эрозионные потери гумуса надо учитывать.

Основной частью приходной статьи баланса гумуса является гумификация поступающих растительных остатков и органических удобрений. Поступление гумуса равно произведению массы растительных остатков и органических удобрений на коэффициенты гумификации. Однако модель не учитывает прижизненные корневые выделения растений, которые, по оценкам Е.Е. Григорьевой (1995), могут составлять более $\frac{1}{4}$ массы растения. При высокой микробиологической активности, характерной для пахотных почв Калининградской области, источником гумусовых веществ может служить плазма клеток отмирающих микроорганизмов. С учетом микробной массы количество поступающего в почву органического вещества должно быть увеличено на 2 – 3 т/га.

В модели используются коэффициенты гумификации, зависящие от источника органического вещества и гранулометрического состава почвы. Зависимость коэффициента гумификации от источника гумусообразования определяется химическим составом растительных остатков и органических удобрений. Роль гранулометрического состава была рассмотрена нами в предыдущих главах. Однако, как показывают исследования, коэффициент гумификации вновь поступающего органического вещества зависит от исходного содержания гумуса. В почвах, содержащих относительно мало гумуса, имеется достаточно свободной поверхности минеральных частиц, на которых может закрепляться «свежее» органическое вещество. В богатых органическим веществом почвах коэффициент гумификации уменьшается.

Таблица 37
 Баланс гумуса за период 1975 – 1996 г. на полях систематического мониторинга (АО «Кировское»)

Год	Культура	Урожай- ность, ц/га	Растительные остатки, т/га	Поступление гумуса, т/га	Потери гумуса, т/га	Сальдо баланса, т/га
1975	Ячмень	21,5	3,44	0,62	0,77	-0,15
1976	Озимая рожь	25,0	3,5	0,63	0,9	-0,27
1977	Ячмень	29,0	4,06	0,73	1,04	-0,31
1978	Озимая рожь	41,0	4,51	0,81	1,48	-0,67
1979	Ячмень	22,1	3,54	0,64	0,80	-0,16
1980	Ячмень	14,0	2,38	0,43	0,50	-0,07
1981	Многолетние травы, сено	25,0	5,25	0,945	0,28	+0,67
1982	Многолетние травы, сено	34,0	6,29	1,13	0,38	+0,75
1983	Многолетние травы, сено	35,0	6,48	1,17	0,39	+0,78
1984	Многолетние травы, сено	36,0	6,66	1,20	0,40	+0,80
1985	Картофель	85	1,45	6,59	0,76	+5,83
1986	Ячмень	26,8	4,02	0,72	0,96	-0,24
1987	Бобы, зерно	38,4	3,84*	0,69	2,99	-2,3
1988	Картофель	115	1,96	0,12	1,03	-0,91
1989	Ячмень	25,0	3,75	0,67	0,90	-0,23
1990	Многолетние травы, сено	35,8	6,62	1,19	0,40	+0,79
1991	Многолетние травы, сено	37,4	6,91	1,24	0,42	+0,92

Поле № 1

1992	Озимая пшеница	28,2	4,23	0,76	1,22	-0,46
1993	Ячмень яровой	19,8	3,17	0,57	0,71	-0,14
1994	Ячмень яровой	12,0	1,66*	0,30	0,43	-0,13
1995	Ячмень яровой	10,5	1,58*	0,28	0,38	-0,10
1996	Многолетние травы, сено	23,3	5,13	0,92	0,26	+0,66

Поле № 2

1975	Кукуруза	358	5,73	4,61	1,29	+3,32
1976	Озимая рожь	33,0	4,13	0,74	1,19	-0,45
1977	Бобы	42,0	4,20	0,76	3,28	-2,52
1978	Кукуруза	250	4,50	2,6 + 0,54	0,90	+2,24
1979	Ячмень	25,0	3,75	0,675	0,90	-0,235
1980	Бобы	40,0	4,00	0,72	3,12	-2,40
1981	Ячмень яровой	25,0	3,75	0,675	0,90	-0,235
1982	Силосные	182	3,28	0,39	1,36	-0,97
1983	Силосные	247	4,32	0,52	1,85	-1,33
1984	Силосные	250	4,37	0,52	1,87	-1,35
1990	Ячмень	29,6	4,14	0,75	1,07	-0,32
1991	Многолетние травы	38,9	7,00	1,26	0,43	+0,83
1992	Многолетние травы	30,1	5,72	1,03	0,34	+0,69
1993	Многолетние травы	39,9	7,18	1,29	0,45	+0,84
1994	Многолетние травы	34,2	6,32	1,14	0,38	+0,76
1995	Ячмень	14,1	2,40	0,43	0,51	-0,08

Примечание: * – величины, рассчитанные по уравнению регрессии.

Для каждой почвенной разности повышение содержания гумуса возможно лишь до определенного предела. При достижении такого предела даже ежегодное внесение высоких доз органических удобрений, значительно превышающих расчетные потери гумуса, не приводит к росту запасов гумуса в почве. Кроме того, коэффициент гумификации уменьшается с ростом дозы поступающего «свежего» органического вещества. Таким образом, коэффициент гумификации при строгом подходе следует рассматривать как функцию гранулометрического состава, поэтому необходимо учитывать содержание исходного гумуса в почве и дозы поступающего «свежего» органического вещества. Предлагаемая функция имеет вид

$$k = k_0 \cdot r^n \cdot \exp(-p) \cdot \exp\left(\frac{g_\infty - g}{g_\infty}\right), \quad (4.1)$$

где k – коэффициент гумификации;

k_0 – коэффициент гумификации в почвах со 100%-ным содержанием физической глины при бесконечно малом поступлении органического вещества;

r – доля физической глины;

p – количество поступающего «свежего» органического вещества;

g – содержание гумуса в почве;

g_∞ – предельное содержание гумуса в данной почвенной разности.

Величина k_0 будет зависеть от вида поступающего в почву органического вещества, а также от гидротермических условий гумусообразования. Величины n и g_∞ могут быть определены опытным путем.

Расход гумуса происходит вследствие его минерализации, миграции с нисходящим током и эрозионных потерь. Для достаточно больших территорий величины накопления и потерь гумуса из-за эрозии взаимно скомпенсированы. Величина выноса органического вещества за пределы пахотного (гумусоаккумулятивного) горизонта зависит от типа вод-

ного режима, а также от группового и фракционного состава гумуса. Для почв засушливых территорий с непромывным или десуктивно-выпотным водным режимом вынос гумуса с нисходящим током почвенных растворов равен нулю. Для почв с периодически промывным, промывным и застойно-промывным водным режимом (последние два характерны для Калининградской области) потери органического вещества в результате миграции могут достигать весьма существенных величин.

Вынос гумуса будет пропорционален доле подвижных гумусовых веществ (сумме первых фракций), коэффициенту фильтрации почв, зависящему от гранулометрического состава и степени оглеения почв [Зайдельман, 1998], а также объему фильтрующихся через почвенный профиль вод. Если в единицу времени через 1 га почвы фильтруется V литров воды, а концентрация гумусовых веществ составляет C г/л, то масса (M) вынесенного с гектара гумуса определяется следующим образом:

$$M = 10^{-6} \cdot C \cdot V \cdot t,$$

где 10^{-6} – коэффициент пересчета концентрации гумуса в тонны на гектар; t – время фильтрации воды через почву. Концентрация органического вещества в фильтрующихся через почвенный профиль водах определяется содержанием водорастворимого органического вещества в гумусовом горизонте. В пахотных дерново-подзолистых почвах Калининградской области содержание водорастворимого гумуса составляет 0,2 – 0,3 г/кг почвы для легкосуглинистой почвы, 0,15 – 0,2 – для почвы и 0,15 – 0,25 – для тяжелосуглинистой. Концентрация водорастворимого гумуса максимальна в весенние месяцы (апрель – май), летом с активизацией микробиологической деятельности она снижается в 2 – 2,5 раза, осенью вновь несколько возрастает. Объем фильтрующейся через почвенный профиль воды определяется количеством осадков, испарением и поверхностным стоком. Масса вынесенного с 1 га гумуса за время t будет определяться выражением

$$M = 10^{-6} \cdot \int_{t_0}^t C(t) \cdot V(t) dt, \quad (4.2),$$

где t_0 – момент начала наблюдений;

t – момент конца наблюдений;

$C(t)$ – изменяющаяся во времени концентрация растворенных гумусовых веществ;

$V(t)$ – объем фильтрующихся через 1 га вод.

Концентрация водорастворимых гумусовых веществ зависит от доз минеральных и органических удобрений. Применение минеральных удобрений в средних дозах (100 кг/га д. в. НРК) ведет к росту концентрации водорастворимых гумусовых веществ на 15 – 20% в течение 3 – 4 месяцев, а применение навоза увеличивало концентрацию растворимого гумуса на 20 – 50%. На супесчаных почвах влияние навоза прослеживалось в течение 3 месяцев, на суглинистых – на протяжении всего вегетационного периода [Важенин, Лебедева, Ломакина, 1959].

Точное определение функции $C(t)$ весьма затруднительно, так как требует большого числа экспериментальных данных, полученных на различных почвах при выращивании разных культур и применении различных систем удобрений. Поэтому для приближенного расчета можно пользоваться линейными уравнениями регрессии массы выносимых органических веществ на объем дренажного стока с 1 га в единицу времени. При этом концентрацию растворенного органического вещества определяют экспериментально по общепринятым методикам, а объем дренажного стока фиксируется в процессе наблюдений. Оценка величины ежегодного выноса органического вещества в результате вертикальной миграции из дерново-подзолистых почв находится в пределах 50 – 250 кг/га [Рекомендации..., 1984].

Считается, что содержание азота в минерализующемся гумусе составляет 5%. Разные группы почвенного органического вещества минерализуются с весьма различной скоростью.

Если время минерализации детрита составляет 1 – 3 года, то время минерализации лабильного гумуса – несколько сотен лет, а консервативного гумуса – многие тысячелетия. Содержание азота в разных фракциях гумусовых веществ различно, причем в лабильных гумусовых веществах оно может быть существенно меньше 5%. Для высвобождения 1 кг азота из гумуса минерализуется не 20, а 30 – 40 кг гумуса (преимущественно гумусовых веществ первой фракции).

Доля потребляемого растениями азота зависит от доз и сроков внесения минеральных удобрений. При внесении азотных удобрений в повышенных дозах коэффициент потребления азота из минерализованного гумуса может снижаться до 0,5 и менее, тогда как низкие дозы или отсутствие азотных удобрений повышает вынос азота из минерализующихся гумусовых веществ. При этом доля азота, источником которого служит почвенный гумус, заметно повышается.

Исследования О.Д. Сиротенко, В.А. Романенкова и Л.К. Шевцовой (2003) показали, что коэффициенты минерализации органического вещества зависят не только от внесения азотных удобрений, но и от дозы вносимых органических удобрений, возделываемой культуры и увлажнения. Вышеуказанные ученые предложили уравнение для определения коэффициента минерализации с учетом этих факторов:

$$m_H^j = m_H^0 (1 + \alpha_H f_N^j) (1 + b_H f_m^j) (W^j)^d V_k^j, \quad (4.3)$$

где m_H^j – коэффициент минерализации гумуса в j -й год;

m_H^0 – коэффициент разложения гумуса при $f_N^j = 0$, $f_m^j = 0$;

α_H, b_H, d – константы;

$(W^j)^d$ – показатель увлажнения в j -й год;

V_k^j – коэффициент, зависящий от вида сельскохозяйственной культуры, произраставшей в j -м году.

В качестве параметра, определяющего скорость разложения органического вещества почвы, выбрана функция дефицита испарения ΔE , которая равна разности между испаре-

мостью и фактическим испарением за период с температурой воздуха выше 5 °С. Показано, что с увеличением дефицита испарения коэффициент минерализации нелинейно уменьшается.

Специфическое влияние отдельных культур вызвано объемом и химическим составом их корневых выделений, а также особенностями обработки почвы. Методом наименьших квадратов авторами были найдены следующие значения коэффициента V_k^j : яровой ячмень – 0,80; озимая пшеница – 0,94; овес – 1,20; кукуруза на силос – 1,57; картофель – 1,50; горох – 0,70; вико-овес – 1,37; клевер 1-го года – 0,30; клевер 2-го года – 1,00; чистый пар – 0,86.

Таким образом, коэффициенты, отражающие влияние различных сельскохозяйственных культур, варьируют в весьма широких пределах – от 0,3 до 1,57, то есть крайние значения отличаются более чем в пять раз. В используемой нами ранее модели расчета баланса гумуса использовались следующие коэффициенты, указывающие на зависимость темпов минерализации от возделываемой сельскохозяйственной культуры: для зерновых – 0,6; для многолетних трав – 0,3; для зернобобовых – 0,5, – то есть различие по основным группам сельскохозяйственных культур двукратное.

В обеих моделях не приводятся данные по гумификации пожнивно-корневых остатков такой широко распространенной в последнее десятилетие культуры, как рапс на семена. Для оценки влияния рапса на баланс гумуса можно пользоваться данными, полученными для дерново-подзолистых и бурых лесных почвах учеными Германии (приложение 5).

В целях более точного учета всех составляющих баланса гумуса в пахотных почвах перспективным представляется переход на следующую модель. Запас гумуса в пахотном горизонте состоит из консервативного и лабильного органического вещества: $H = H_{ин} + H_{л}$, где H – общий гумус (т/га); $H_{ин}$ – инертный гумус (т/га); $H_{л}$ – лабильный гумус (т/га)

$$H_{ин} = \% r \cdot П \cdot Д \cdot 0,07, \quad (4.4)$$

где $\% r$ – содержание физической глины в %;
 $П$ – мощность пахотного горизонта, см;
 $Д$ – объемная масса почвы, г/см³.

$$H_n^0 = H - H_{ин}, \quad (4.5)$$

где H_n^0 – содержание лабильного гумуса (т/га) на начальный момент времени.

Если $H_n^0 > 0$, то минерализацией инертного органического вещества можно пренебречь.

$$H_n = H_n^0 + kp + k_y \cdot D_y - m_n^j \cdot H_n^0 - M, \quad (4.6),$$

где k – коэффициент гумификации растительных остатков;
 p – масса пожнивно-корневых остатков на 1 га;
 k_y – коэффициент гумификации органических удобрений;
 D_y – доза органических удобрений (т/га);
 m_n^j – коэффициент минерализации гумуса;
 M – потери гумуса вследствие вымывания.

Величина k рассчитывается по уравнению 4.1; приближенные значения p даны в приложении 2, а значения k_y – в приложении 4. Коэффициент m_n^j рассчитывается по формуле $m_n^j = m_n^j (1 + \alpha_n f_N^j) (W^j)^d \cdot V_k^j$ (обозначения те же, что и в формуле 4.3), величина H_n^0 – по уравнению 4.5, величина M – по уравнению 4.2.

Переход к расчету баланса гумуса требует проведения многофакторных экспериментов для определения величин k_o , g_o , m_n^0 , α_n , b_n , d , уточнения значений коэффициента V_k^j и величины миграционных потерь гумуса M . Пока для оценки динамики запасов органического вещества и прогноза изменения содержания гумуса следует использовать принятую методику.

4.2. Применение органических удобрений и другие методы оптимизации гумусного состояния почв

Роль органических удобрений в воспроизводстве почвенного плодородия с течением времени изменялась. До середины XIX в. навоз был практически единственным имевшимся в арсенале земледельца средством компенсации вынесенных элементов питания – фосфора, калия, серы, микроэлементов. С внедрением минеральных удобрений навоз утратил значение регулятора плодородия.

Основная функция органических удобрений – создание квазизамкнутого малого круговорота углерода в агроэкосистемах. Органическими удобрениями покрывался дефицит гумуса в пахотных почвах, что предотвращало их дегумификацию.

В Восточной Пруссии органические удобрения применялись весьма широко. Во второй половине XIX в. около 80% выноса микроэлементов покрывалось за счет навоза, в 30-е гг. XX в. – 40 – 60%. По данным некоторых авторов [Sauerlandt, 1934], среднее содержание в перепревшем навозе сухого вещества составляло 21,4%; общего азота – 0,43, фосфорной кислоты – 0,20 и калия – 0,61. Навозом обеспечивалось два полных поля севооборота. В первую очередь навоз применялся под корнеплоды и клубнеплоды, во вторую – под зерновые хлеба и только затем – на лугово-пастбищных угодьях [Hahne, 1940].

В первые послевоенные годы применение навоза значительно сократилось. В период интенсивной химизации объемы внесения органических удобрений возрастали. Так, в 1966 – 1970 гг. в среднем по области вносилось 3,9 т/га в год органических удобрений; в 1971 – 1975 – 4,5; в 1976 – 1980 – 5,9; в 1981 – 1985 – 7,4; в 1986 – 1990 – 7,0; в 1991 – 1995 – 3,5. Доля органических удобрений в общем балансе элементов питания неуклонно снижалась – с 28% в 1966 – 1970 гг. до 11% – в 1991 – 1995 гг. [Панасин, Слобожанинова, Чашкина, 1997].

В последние годы объемы применения органических удобрений сократились до минимума и составили в 2002 г. 0,6 т/га пашни. Вследствие этого возросла степень разомкнутости биологического круговорота углерода в агроэкосистемах – потери органического вещества превысили его поступление. Основным приемом, позволяющим достичь сбалансированности притока и выноса углерода на пашне, является применение органических удобрений.

Систематическое применение органических удобрений является одним из важнейших условий окультуривания почв. Органические удобрения снижают кислотность почв и содержание подвижного алюминия в почве, повышают буферность и емкость поглощения почв, улучшают их водно-физические свойства.

Основным и самым распространенным органическим удобрением является навоз. Содержание органического вещества в навозе зависит от способов его заготовки (приложение б): от рациона животных, вида скота, количества и качества подстилки. В среднем в 1 т навоза крупного рогатого скота содержится 2 – 2,5 кг азота, 1,8 – 2 кг фосфора (в пересчете на P_2O_5), 2,5 – 3,0 кг калия (в пересчете на K_2O).

Условия хранения и компостирования определяют ценность навоза в качестве удобрения. Внесение свежего навоза приводит к снижению урожая сельскохозяйственных культур, так как на начальной стадии сукцессии микроорганизмами продуцируются весьма токсичные низкомолекулярные органические вещества. Кроме того, не прошедший биотермическое обеззараживание и биологическое созревание навоз содержит от 2 до 12 миллионов жизнеспособных семян сорных растений на 1 тонну, что вызывает дополнительные затраты на борьбу с сорняками.

Ценность навоза как источника гумуса определяется содержанием в нем органического вещества и азота. Приблизительные коэффициенты гумификации навоза для дерново-подзолистых и бурых лесных почвах различного гранулометриче-

ского состава приведены в приложении 4. Следует указать, что эти коэффициенты получены для почв с исходным содержанием гумуса выше критического, но ниже оптимального. При содержании гумуса ниже критического уровня (определяемого по формуле $H_{ин} = \% r \cdot 0,07$) коэффициенты гумификации навоза возрастают в 2 – 3 раза. При содержании гумуса выше оптимального коэффициенты гумификации снижаются обратно пропорционально количеству гумуса. Навоз влияет не только на общее содержание органического вещества в почвах, но и на групповой и фракционный состав гумуса. Так как в бесподстилочном навозе практически нет «зрелых» гумусовых веществ, а в подстилочном навозе их содержание существенно ниже, чем содержание промежуточных продуктов трансформации органического вещества, внесение навоза увеличивает абсолютное и относительное содержание лабильного органического вещества, то есть сумму первых фракций. Внесение навоза в кислую почву, получающую низкие дозы минеральных удобрений, способствует росту доли подвижных фульвокислот и несколько снижает отношение $C_{гк} : C_{фк}$ [Липкина, 1984]. Внесение навоза в нейтральную или близкую к нейтральной почве в сочетании со средними или повышенными дозами минеральных удобрений ведет к увеличению содержания гуминовых кислот и расширению $C_{гк} : C_{фк}$. При этом в почве изменяется подвижность и доступность ряда элементов, особенно переходных металлов. Таким образом, применение навоза влияет не только на содержание общего гумуса, доступных макроэлементов, но и изменяет концентрацию и доступность большинства микроэлементов. Учитывая многофакторное влияние на весь комплекс показателей почвенного плодородия и обратную зависимость между количеством поступающего органического вещества, рекомендуется вносить навоз небольшими дозами (10 – 15 т/га), по возможности как можно чаще. Навозная жижа является хорошим быстродействующим органическим удобрением. При поверхностном внесении навозная жижа на дерново-подзолистых и бурых лесных

почвах Калининградской области не уступает чилийской селитре [Mitscherlich, 1949]. Рациональнее всего использовать навозную жижу для приготовления компостов или удобрения пропашных культур (с добавкой растворимого суперфосфата).

Еще более мощным и эффективным средством воздействия на гумусное состояние и весь комплекс показателей почвенного плодородия являются компосты. Наиболее распространены торфо-навозные компосты с соотношением торфа и навозной жижи 1 : 1; 3 : 2; 2 : 1. Для компостирования пригодны все виды торфа, влажность которых не превышает 60%, однако предпочтительнее использовать для компостирования низинный торф, так как он богаче гуминовыми кислотами, азотом, кальцием и другими элементами питания, а также имеет близкую к нейтральной или нейтральную pH [Важенин, 1959]. При внесении торфо-навозных компостов расширяется соотношение $C_{гк} : C_{фк}$, при этом доля гуминовых кислот в почве возрастает пропорционально дозе вносимого удобрения. Быстрое изменение группового состава гумуса фиксируется при внесении компоста в дозе 50 т/га и более. В Северо-Западном регионе компосты существенно увеличивают микробиологическую активность почв, особенно на почвах легкого гранулометрического состава. Внесение компостов в дозе 100 т/га увеличивает численность почвенных микроорганизмов в 10 раз, аммонифицирующих бактерий – в 3 раза, а нитрифицирующих – в 5 раз [Попов, Аврова, 2001].

Массовое применение торфо-навозных компостов имеет и негативный экологический аспект. При торфоразработках происходит нарушение, а иногда и уничтожение торфяных болот, являющихся весьма важным звеном макробиоценозов и всей биосферы. Многообразные функции болот как регуляторов водного режима обширных территорий, резервуаров стока органического углерода в глобальном биологическом круговороте этого элемента, экологических ниш для многих видов флоры и фауны делают нежелательным широкомасштабные торфоразработки. Современные представления об экологиза-

ции земледелия [Кирюшин и др., 1993] включают идею о возможно более полном использовании возобновимых источников органического вещества. Привлечение торфа в составе органических удобрений целесообразно лишь в объемах, необходимых для утилизации нетехнологических отходов животноводства, при условии применения рациональных систем отчуждения торфа без экологического ущерба.

К возобновимым источникам органического вещества относятся, кроме навоза, солома и зеленая масса сидератов. Имеющаяся в хозяйствах солома часто используется неэффективно, значительная ее часть остается необранной или сжигается. Для создания бездефицитного или положительного баланса гумуса солому зерновых культур следует рассматривать как ценнейший ресурс. При внесении соломы в чистом виде по накоплению гумуса 1 т измельченной соломы эквивалентна 3 – 3,5 т подстилочного навоза.

При внесении измельченной соломы обязательным приемом является применение азотных удобрений в дозах 15 – 30 кг/га. В этом случае действие соломы на урожай культур и плодородие почвы не уступает действию навоза. Действие соломы при систематическом ее применении как удобрения повышает абсолютное и относительное количество подвижных гумусовых веществ, что многогранно сказывается на всем комплексе почвенного плодородия. Это свойство соломы в сочетании с относительно низкой стоимостью ее подготовки дает возможность считать ее универсальным, экологичным, энергоресурсосберегающим методом оптимизации гумусового баланса, которое можно использовать вместе с другими органическими удобрениями.

Влияние чисто минеральных удобрений на гумусное состояние пашни весьма неоднозначно. Здесь определяющими факторами будут тип почвы, ее гранулометрический состав, возделываемая культура, а также дозы и сроки внесения удобрения. Отрицательное воздействие удобрений сказывается на том, что аммонийные и калийные (а также натриевые) удобре-

ния являются эффективными пептизаторами органических коллоидов и увеличивают вынос органических веществ в пахотные горизонты почвенного профиля. Кроме того, азотные и в меньшей степени фосфорные удобрения активизируют разлагающую гумус микрофлору, чем также способствуют снижению запасов органического вещества.

С другой стороны, минеральные удобрения увеличивают общую продуктивность агроценоза, причем не только товарной продукции, но и пожнивно-корневых остатков. Этот эффект наиболее сильно проявляется при применении сбалансированных по элементам питания средних доз минеральных удобрений. Высокие или несбалансированные дозы минеральных удобрений могут оказать противоположный эффект в связи с минерализацией лабильных органических соединений. На исходно кислых почвах – дерново-подзолистых, бурых лесных и т. д. – известкование является первоочередным приемом получения высоких и устойчивых урожаев.

Известкование является также мощнейшим средством воздействия на весь поглощающий комплекс, особенно велика эффективность этого приема на почвах с низким содержанием гумуса. В сочетании с минеральными удобрениями известкование в дозе 1 г. к. повышает содержание $C_{\text{общ}}$ на 10 – 15%. Кроме того, из гуматно-фульватного почвенное органическое вещество становится фульватно-гуматным, то есть соотношение $C_{\text{тк}} : C_{\text{фк}}$ превосходит единицу. По рекомендациям немецких ученых для увеличения плодородия надо «сначала известковать, затем удобрять» [Mitscherlich, 1949].

При применении известкования должны строго учитываться дозы внесения мелиоранта: высокие дозы (2 и более гидравлической кислотности) создают слабощелочную среду, в которой устойчивость гумусовых веществ снижается, а кренаты и апокренаты кальция приобретают способность мигрировать за пределы корнеобитаемых горизонтов. Оптимальный метод повышения плодородия почвы – это сначала одномоментное известкование по полной гидролитической кислотности, а затем

периодическое поддерживающее известкование относительно невысокими дозами.

Другим весьма доступным в современных экономических условиях методом оптимизации гумусного состояния почвы является применение пожнивных парозанимающих культур и сидератов. Еще академик В.Р. Вильямс рассматривал чистые пары в зоне выраженного промывного режима как расточительство. Возделывание сидеральных культур позволяет решить восполнение недостаточного количества органических удобрений путем заделки всей зеленой массы. В условиях области в качестве сидератов большую отдачу дают преимущественно бобовые культуры, такие, как однолетний и многолетний люпин, донник белый, сераделла. Еще в Восточной Пруссии выращивание сортов сладкого (безалкалоидного) люпина позволило сочетать зеленое удобрение с кормопроизводством. В этом случае зеленая масса шла на корм скоту, а пожнивные остатки запахивались как удобрение.

Промежуточные культуры, используемые как зеленое удобрение, подсеивались под главное растение для осеннего использования, или для использования весной следующего года, а также применялся поживный, осенний посев для использования весной следующего года.

В 1938 г. промежуточные культуры на зеленое удобрение на 43 % были представлены сераделлой, на 32 – люпином, на 15 – другими зерновыми бобовыми и около 10 – горчицей. В преобладающей массе следует возделывать те растения, которые можно использовать и на зеленое удобрение, и на корм. Кроме сераделлы и люпина, из бобовых возделывались конские бобы, горох, вика, хмелевидная люцерна и шведский клевер, а из небобовых – масличная редька, шпругель, гречица [Hahne, 1940].

Таким образом, усилия по оптимизации гумусного состояния почв Калининградской области должны быть смещены в сторону возделывания возобновимых источников накопления органического вещества, товарная часть которых может быть

4.2. Методы оптимизации гумусного состояния почв

использована в животноводстве. Это наиболее экологичный путь оптимизации гумусного баланса пашни, подсказанный нам еще земледельцами Восточной Пруссии. Применение торфо-навозных компостов целесообразно лишь для коренного улучшения гумусного состояния почв с последующим использованием их под пропашные или садово-огородные культуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Региональные особенности почвенно-климатических условий Калининградской области накладывают определённый отпечаток на некоторые параметры гумусного состояния почв. Длительный период биологической активности, достаточное, а порой и избыточное увлажнение, плавный годовой ход температуры влияют на относительно высокую скорость гумификации и трансформации почвенного органического вещества, а ярко выраженный промывной режим способствует активной миграции неспецифических органических соединений и подвижных гумусовых кислот. Всё это стало причиной формирования на большей части территории области почв с относительно мощным гумусово-аккумулятивным горизонтом, а также повышенного содержания органического вещества в нижних горизонтах почвенного профиля.

Особенности годового хода температуры и осадков приводят к значительным колебаниям содержания водорастворимого органического вещества по сезонам года. Максимальное содержание наиболее активных фракций гумуса приходится на весенние месяцы, летом оно снижается вследствие активизации процессов минерализации и «вызревания» гумусовых молекул.

Качественный состав гумуса почв Калининградской области характеризуется относительно низким содержанием негидролизуемой фракции – гумина. Недостаток консервативного органического вещества – гумина и третьей фракции гумусовых веществ – в значительной степени предопределяет чрезмерное уплотнение почв тяжёлого гранулометрического

состава и обуславливает необходимость повторной обработки почв в весенний период.

Наиболее ярко влияние природно-климатических факторов на формирование гумуса прослеживается при сравнении гумусного состояния почв под лесами. В отличие от почв под хвойными и смешанными лесами южной тайги в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв под лиственными лесами Калининградской области присутствуют гуматы кальция и магния. Относительное содержание фульвокислот и негидролизующих органических веществ заметно ниже, что указывает на интенсивно протекающие процессы гумификации, минерализации и трансформации почвенного органического вещества.

Абсолютное большинство почв Калининградской области подверглось весьма длительному и интенсивному антропогенному воздействию. Окультуривание почв вызывает изменение не только глубины гумусово-аккумулятивной части профиля, но и содержания различных фракций гумусовых веществ. В слабоокультуренных почвах, как и в почвах под лиственными лесами, в верхнем горизонте преобладает первая, а ниже – третья фракция гуминовых кислот. Содержание свободных и рыхлосвязанных гуминовых кислот убывает вниз по профилю.

С увеличением длительности и интенсивности антропогенного воздействия уменьшается относительное содержание свободных и легкоподвижных фульвокислот, возрастает доля гуминовых кислот и закономерно расширяется отношение $C_{тк} : C_{фк}$. Степень гумификации органического вещества в лесных и слабоокультуренных почвах средняя, в средне- и хорошоокультуренных – высокая. Окультуривание почв вызывает изменение количества и качественного состава гумуса, что оказывает влияние на физические свойства почв.

В последние годы в связи со значительным падением объемов вносимых органических удобрений наблюдаются деграционные изменения в составе гумуса на некоторой части пахотных угодий. Снижение доли гуминовых кислот, в пер-

вую очередь наиболее агрономически ценной их фракции – гуматов кальция, увеличение относительного содержания свободных и рыхлосвязанных фульвокислот приводит не только к подкислению почвенных растворов, но и к ускоренному выщелачиванию ряда элементов питания.

Мощность гумусово-аккумулятивного горизонта, накопление органических веществ в иллювиальной части почвенного профиля существенно воздействуют на количество и формы нахождения многих химических элементов, в том числе элементов минерального питания растений. Накопление гуминовых кислот и негидролизуемой фракции гумуса создаёт геохимический барьер, где аккумулируются биофильные элементы. Содержание обменно-поглощённых кальция, магния, кобальта, меди и ряда других микроэлементов напрямую зависит от гумусированности почвы, абсолютного и относительного содержания гумусовых веществ, главным образом химически активных первой и второй фракций. Кроме того, органическое вещество, в основном консервативные фракции и гуминовые кислоты, играет определяющую роль в связывании и переводе в труднодоступную форму тяжелых металлов, детоксикации органических ксенобиотиков, что является исключительно важным экологическим аспектом поддержания почвенного плодородия.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Примерный вынос азота с урожаем различных культур

Культура	Основная продукция	Вынос на 1 т основной продукции с учетом побочной, кг
Пшеница озимая	Зерно	30
Пшеница яровая	Зерно	35
Рожь озимая	Зерно	25
Ячмень	Зерно	25
Овес	Зерно	33
Кукуруза на силос	Надземная масса	2,5
Горох	Зерно	66
Вика	Зерно	65
Люпин	Зерно	68
Рапс озимый	Семена	49
Картофель	Клубни	6,2
Кормовая свекла	Корнеплоды	4,9
Турнепс	Корнеплоды	4,8
Кормовая морковь	Корнеплоды	5,2
Столовая морковь	Корнеплоды	3,2
Капуста белокочанная	Кочаны	3,3
Помидоры	Плоды	2,6
Огурцы	Плоды	1,7
Лук	Луковицы	3,0
Плодовые и ягодные культуры	Плоды и ягоды	5,0
Силосные	Надземная масса	5,2
Клевер	Сено	19,7
Люцерна	Сено	26,0
Многолетние травы злаковые	Сено	15,5
Вика	Сено	22,7

**2. Выход растительных остатков (жнивье и корни)
в зависимости от урожая основной продукции**

Культура	Урожай- ность, ц/га	Коэффициенты выхода рас- тительных остатков по отношению к основной продукции
Озимая рожь	10	2,2
	20	1,5
	25	1,4
	30	1,3
	40	1,1
Озимая пшеница	10	2,2
	20	1,7
	30	1,5
	40	1,3
Ячмень, овес	10	2,0
	20	1,6
	30	1,4
Картофель	100	0,17
	200	0,14
	300	0,10
Кормовые корнеплоды	100	0,12
	200	0,09
	300	0,08
	400	0,07
Кукуруза на силос	100	0,27
	200	0,21
	280	0,17
	300	0,16
Зернобобовые (бобы, горох, ви- ка)	10	1,9
	20	1,6
	30	1,2

Окончание табл.

Культура	Урожайность, ц/га	Коэффициенты выхода растительных остатков по отношению к основной продукции
Силосные (без кукурузы)	100	0,24
	180	0,19
	200	0,18
	300	0,17
Однолетние травы на сено (горох, вика, овес)	10	2,2
	15	2,0
	20	1,7
	25	1,5
	30	1,4
	40	1,2
Многолетние травы (сено)	10	2,8
	20	2,4
	30	1,9
	40	1,8
	50	1,8
	60	1,7

3. Уравнения линейной регрессии зависимости количества растительных остатков (сухое вещество) от урожая культуры

Пшеница озимая	$y = 0,41x + 19,88$
Ячмень яровой	$y = 0,54x + 10,11$
Картофель	$y = 0,07x + 3,54$
Кукуруза	$y = 1,10x - 6,27$
Вико – овсяная смесь	$y = 0,25x + 14,74$
Многолетние травы	$y = 0,23x + 35,11$
Лен	$y = 3,12x - 3,19$

Примечание:

x – урожайность, ц/га;

y – количество растительных остатков, ц/га.

Приложение

**4. Коэффициенты гумификации органических удобрений
и растительных остатков**

Вид удобрения, поживные и корневые остатки сельскохозяйственных культур	Почва		
	Супесча- ная	Суглини- стая	Глини- стая
Навоз	0,055	0,065	0,07
Торфо-навозный компост (1 : 1)	0,06	0,07	0,08
Зеленые удобрения	0,04	0,06	0,06
Солома зерновых культур	0,15	0,18	0,20
Зерновые, многолетние травы	0,15	0,18	0,20
Кормовые (силосные)	0,10	0,12	0,15
Картофель, корнеплоды, овощи	0,05	0,06	0,07

**5. Расход и накопление гумуса в пересчете на сухое
органическое вещество удобрений в дерново-подзолистых
и бурых лесных почвах [Eich, 1981]**

Культура	Почвенная группа				
	Песок	Супесь	Легкий сугли- нок	Средний и тяже- лый су- глинок	Гли- на
Пропашные и овощи (капуста цветная, лук – порей, спаржа)	- 4,7	- 4,9	- 5,2	- 5,7	- 5,7
Кукуруза, капуста кормовая и овощи (морковь, редька, томаты)	- 3,5	- 3,6	- 3,9	- 4,3	- 4,3
Зерновые, масличные, табак	- 1,8	- 1,8	- 2,0	- 2,1	- 2,1
Рожь кормовая	- 0,9	- 0,9	- 1,0	- 1,1	- 1,1
Бобовые кормовые однолетние	+ 0,6	+ 0,6	+ 0,7	+ 0,8	+ 0,8
Стручковые	+ 0,9	+ 0,9	+ 1,0	+ 1,1	+ 1,1
Многолетние травы злаковые	+ 2,7	+ 2,8	+ 3,0	+ 3,3	+ 3,3

Окончание табл.

Культура	Почвенная группа				
	Песок	Супесь	Легкий суглинок	Средний и тяжелый суглинок	Глина
Люцерна, клевер и их смеси с травами					
основной год пользования	+ 5,4	+ 5,6	+ 6,0	+ 6,6	+ 6,6
весенний посев, уборка осенью	–	+ 0,9	+ 1,0	+ 1,1	+ 1,1
из-под покровной культуры, уборка весной	–	+ 2,8	+ 3,0	+ 3,3	+ 3,3
Овес зеленый	– 0,9	– 0,9	– 1,0	– 1,1	– 1,1
Культуры пожнивные	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,5	+ 0,6	+ 0,6
Рапс	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,5	+ 0,6	+ 0,6

6. Содержание органического вещества в различных органических удобрениях [Рекомендации..., 1984]

Вид и форма удобрений	Коэффициент для расчета содержания сухого органического вещества в удобрениях
Жидкий навоз, 8 % сухого вещества	0,04
Жидкий навоз, 6 % сухого вещества	0,03
Жидкий навоз, 4 % сухого вещества	0,02
Жидкий навоз, 2 % сухого вещества	0,01
Ил отстойников, 10 % сухого вещества	0,10
Зеленое удобрение, 10 % сухого вещества	0,04
Подстилочный навоз	0,20
Солома	0,68
Компост из мусора	0,18
Торф низинный, 16 % сухого вещества	0,10
Торф низинный, 35 % сухого вещества	0,22

Приложение

7. Коэффициенты для пересчета количества органических удобрений на эквивалентное количество подстилочного навоза

Вид удобрения	Коэффициент
Подстилочный навоз	1,0
Бесподстилочный навоз:	
полужидкий – влажность не более 92 %	0,5
жидкий – влажность 93 – 97 %	0,25
Птичий помет	1,4
Сапропель	0,25
Солома*	1,0
Компосты:	
торфо-навозные	1,5
торфо-пометные, лигнино- и коропометные	2,0
Сидеральные удобрения	0,25

Примечание:

* – при условии использования в составе подстилочного навоза.

8. Расчет годового выхода навоза

1. При бесподстилочном содержании

$$H = 0,001 \cdot P \cdot \mathcal{E} \cdot (Tc + 0,33 Tn).$$

2. При подстилочном содержании

$$H = 0,001 \cdot P \cdot (\mathcal{E} + M) (Tc + 0,33 Tn).$$

3. На комплексах и фермах, оборудованных гидравлической системой,

$$H = 0,001 \cdot P \cdot \mathcal{E} \cdot (Te + 0,33 Tn) \cdot Kp,$$

где H – количество навоза, т/га-год;

P – поголовье животных соответственно половозрастной группе, кол-во голов;

\mathcal{E} – количество твердых и жидких экскрементов, выделяемых одним животным, кг/сутки;

M – масса применяемой подстилки, кг/сутки на одно животное;

Tc – продолжительность стойлового периода, кол-во дней;

Tn – продолжительность пастбищного периода, кол-во дней;

Kp – коэффициент разбавления экскрементов водой.

Объемы производства торфо-навозных компостов устанавливаются по формуле

$$K=0,85 (H + T),$$

где K – выход компоста, т;

H – количество компостируемого навоза, т;

T – количество торфа в массе компоста, т.

Суточный выход экскрементов, кг на одно животное

Быки – производители	– 40,0
Коровы	– 55,0
Нетели	– 27,0
Телята до 6 мес., на откорме до 4 мес.	– 7,5
Телята 6 – 12 мес., на откорме 4 – 6 мес.	– 14,0
Молодняк на откорме 6 – 12 мес.	– 26,0
Молодняк 12 – 18 мес.	– 27,0
Хряки	– 11,1
Свиноматки холостые	– 8,8
Свиноматки супоросные	– 10,0
Свиноматки с поросятами	– 15,3
Поросята	– 2,4
Свиньи на откорме до 40 кг	– 3,5
40 – 80 кг	– 5,1
более 80 кг	– 6,6

Примерные нормы подстилки на одно животное, кг

Животные	Солома	Торф верховой	Опилки
Крупный рогатый скот	4 – 6	3 – 4	3 – 6
Лошади	3 – 5	2 – 3	2 – 4
Свиноматки с поросятами	5 – 6	3 – 4	2 – 3
Откормочные свиньи	1 – 1,5	0,1 – 1,0	1,5 – 2

Приложение

**9. Градации пахотных дерново-подзолистых почв
Северо-Западного региона РФ по степени гумусированности,
% от массы почвы [МУ по проведению ..., 2003]**

Гранулометрический состав почвы	Класс почвы по степени гумусированности			
	Меньше минималь- ного содержания	Слабогу- мусиро- ванная	Средне- гумусиро- ванная	Сильно- гумусиро- ванная
Песчаная, супесчаная	< 0,5 – 1,0	1,0 – 1,7	1,7 – 2,5	> 2,5
Легко- и среднесуг- линистая	< 1,0 – 1,5	1,5 – 2,3	2,3 – 3,3	> 3,3
Тяжелосуглинистая, глинистая	< 1,5 – 2,0	2,0 – 2,9	2,9 – 3,9	> 3,9

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Агроклиматические ресурсы Литовской ССР и Калининградской области РСФСР*. Л., 1972.
2. *Айх Д., Кершенс М.* О путях повышения содержания гумуса в почвах ГДР // С.-х. биология. 1989. № 1. С. 124 – 126.
3. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и его трансформации. Л., 1980.
4. *Александрова Л.Н., Юрлова О.В.* Методы определения оптимизации содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах (на примере почв Ленинградской области) // Почвоведение. 1984. № 8. С. 21 – 28.
5. *Алёшин С.Н., Черников В.А.* О классификации, методах выделения и количественном определении различных групп гумусовых веществ // Известия ТСХА. 1971. Вып. 4. С. 89 – 94.
6. *Анспок П.И.* Почвенные условия и эффективность применения микроудобрений в Латвийской ССР: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Каунас, 1972.
7. *Анциферова О.А.* Тенденции современной эволюции залежных ландшафтов Калининградского полуострова // Современные проблемы сельского хозяйства: Сб. науч. тр. КГТУ. Калининград, 2000. С. 81 – 88.
8. *Она же.* Химические свойства и особенности фракционно-группового состава гумуса бурых лесных почв Земландского полуострова // Современные проблемы сельского хозяйства: Сб. науч. тр. КГТУ. Калининград, 2002. С. 104 – 111.
9. *Багаутдинов Ф.Я.* Обновление компонентов гумуса серой лесной почвы и чернозёма типичного при длительной гумификации меченых по углероду растительных остатков // Почвоведение. 1994. № 2. С. 50 – 56.
10. *Барановская А.В.* К характеристике количества и состава органического вещества в почвах Калининградской области // Почвоведение. 1952. № 5. С. 434 – 442.
11. *Баринова Г.М.* Климат // Калининградская область: Очерки природы / Под ред. В.М. Литвина. Калининград, 1999. С. 54 – 68.

Библиографический список

12. *Бахматова К.А.* Состав органического вещества почв в зависимости от степени их агрогенной трансформации (на примере почв Приневской низменности) // Гумус и почвообразование: Сб. науч. тр. СПб ГАУ. СПб., 1996. С. 44 – 52.
13. *Бривкалн К.К.* Агротехнически и экономически целесообразное содержание органического вещества в почвах Латвийской ССР // Проблемы накопления и использования органических удобрений. Минск, 1976. С. 61 – 65.
14. *Будыко М.И.* Эволюция биосферы. Л., 1984.
15. *Важенин И.Г.* Агрохимическая служба и практика применения удобрений в бывшей Восточной Пруссии // Агрохимические работы в Калининградской области: Сб. М., 1959. С. 20 – 39.
16. *Важенин И.Г., Белякова В.И.* Агрохимическая характеристика почв // Там же. С. 40 – 70.
17. *Важенин И.Г., Лебедева З.Н., Ломакина Н.И.* Динамика питательных веществ // Там же. С. 91 – 116.
18. *Варшал Г.М., Кощеева И.Я., Хушвахтова С.Д. и др.* О механизме сорбции ртути (II) гуминовыми кислотами // Почвоведение. 1998. № 7. С. 1071 – 1078.
19. *Вильямс В.Р.* Почвоведение: Собр. соч. М., 1940. Т. 1.
20. *Он же.* Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения. М., 1947.
21. *Виноградова О.Л.* Некоторые особенности агроэкологической оценки долинных ландшафтов Преголи и Прохладной // Актуальные проблемы сельского хозяйства: Сб. науч. тр. КГТУ. Калининград, 2001. Ч. 1. С. 174 – 186.
22. *Вирченко Е.П., Агапкина Г.И.* Радионуклид – органические соединения в почвах зоны влияния Чернобыльской АЭС // Почвоведение. 1993. № 1. С. 13 – 18.
23. *Витковская С.Е., Дричко В.Ф.* Влияние органических отходов на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и поступление тяжелых металлов в растения // Агрохимия. 2002. № 7. С. 5 – 10.
24. *Ганжара Н.Ф.* Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества подзолистых и чернозёмных почв Европейской части СССР: Дис. ... д-ра биол. наук. М., 1988.
25. *Он же.* Концептуальная модель гумусообразования // Почвоведение. 1997. № 9. С. 1075 – 1080.

26. *Он же*. Почвоведение. М., 2001.
27. *Григорьева Е.Е.* Гумус дерново-подзолистых почв. М., 1995.
28. *Гримм Р.Е.* Минералогия почв. М., 1959.
29. *Гринченко Т.А.* Активность ионов кальция и трансформация органического вещества дерново-подзолистых почв Украинского Полесья // Агрочесоведение и плодородие почв: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. Л., 1986. С. 48.
30. *Дедков В.П.* Растительность // Калининградская область: Очерки природы / Под ред. В.М. Литвина. Калининград, 1999. С. 139 – 148.
31. *Добровольский В.В.* Основы биогеохимии. М., 1998.
32. *Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В. и др.* Климатология. Л., 1989.
33. *Дюшофур Ф.* Новые данные по гумификации в лесных почвах умеренного климата // Почвоведение. 1998. № 7. С. 883 – 889.
34. *Жуков А.И.* Воспроизводство гумуса в интенсивном земледелии // Агрехимия. 1991. № 3. С. 121 – 133.
35. *Завалишин А.А., Надеждин Б.В.* Почвенный покров Калининградской области // Почвы Калининградской области. М., 1961. С. 3 – 130.
36. *Зайдельман Ф.Р.* Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. М., 1998.
37. *Зайдельман Ф.Р., Данилова Г.А.* Влияние степени гидроморфизма на состав гумуса целинных и освоенных дерново-подзолистых почв на тяжёлых покровных суглинках // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1989. № 4. С. 33 – 47.
38. *Кауричев И.С., Ганжара Н.Ф., Хохлов В.Г.* Гумусовое состояние почв Смоленской области // Органическое вещество пахотных почв. М., 1987. С. 52 – 60.
39. *Кауричев И.С., Ноздрунова Е.М.* Общие черты генезиса почв временного избыточного увлажнения // Новое в теории оподзоливания и осолодения почв: Сб. М., 1964. С. 46 – 61.
40. *Кауричев И.С., Орлов Д.С.* Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М., 1982.
41. *Кирюшин В.И., Ганжара Н.Ф., Кауричев И.С. и др.* Концепция оптимизации режима органического вещества в агроландшафтах. М., 1993.
42. *Ковальский В.В., Андрианова Г.А.* Микроэлементы в почвах СССР. М., 1970.

Библиографический список

43. Колосов И.В. Гуминовые кислоты как многоцентровые высокомолекулярные комплексообразователи. Равновесие в системе Ca^{2+} –гуминовая кислота // Почвоведение. 1982. № 3. С. 42 – 48.
44. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М., 1963.
45. Коршун Н.Н. Состав гумуса дерново-подзолистых почв с признаками избыточного увлажнения // Тр. БелНИИ почвоведения и агрохимии. 1969. Вып. 7. С. 74 – 80.
46. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М., 1990.
47. Она же. Проблемы расширенного воспроизводства плодородия дерново-подзолистых почв в условиях возрастающей эффективности сельского хозяйства (интегральная модель высокоплодородной почвы) // Вестн. с.-х. науки. 1982. № 9. С. 33 – 38.
48. Ладонин Д.В., Марголина С.Е. Взаимодействие гуминовых кислот с тяжелыми металлами // Почвоведение. 1997. № 7. С. 806 – 811.
49. Левин Ф.И., Денисова Е.А., Белозеров С.М. Влияние культур на образование подвижных гумусовых веществ дерново-подзолистых почв // Агрохимия. 1986. № 10. С. 82 – 90.
50. Леонтьев В.Л. Некоторые особенности лесов Калининградской области // Тр. Ботанического ин-та им. В.Л. Комарова АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. 1955. Вып. 10. С. 330 – 372.
51. Липкина Г.С. Влияние длительного интенсивного удобрения на содержание и качество гумуса дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 1984. № 7. С. 65 – 73.
52. Макаров М.И. Соединения фосфора в гумусовых кислотах почвы // Почвоведение. 1997. № 4. С. 458 – 463.
53. Макаров М.И., Малышева Т.И., Окунева Р.М. Фосфор органических соединений в гранулометрических фракциях некоторых типов почв // Агрохимия. 1999. № 7. С. 24 – 32.
54. Макунина Г.С. Земледельческое освоение и потери гумуса в дерново-подзолистых, бурых лесных и серых лесных почвах // Почвоведение. 1990. № 3. С. 41 – 51.
55. Матинян Н.Н. Заболоченные почвы Приильменской низменности и Валдайской возвышенности: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1968.
56. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М., 2003.

57. Милащенко Н.З., Соколов О.А., Брайсон Т., Черников В.А. Устойчивое развитие агроландшафтов: В 2 т. Пущино, 2000.
58. Мотузова Г.В., Дегтярёва А.К. Формы соединений железа в почвенных растворах и дренажных водах на примере Яхромской поймы // Почвоведение. 1993. № 1. С. 110 – 114.
59. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Роль органического вещества в формировании кислотности и изменение гумусного состояния дерново-подзолистых почв при известковании // Агрохимия. 1998. № 8. С. 14 – 20.
60. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М., 1990.
61. Он же. Гумусовые кислоты почв. М., 1974.
62. Он же. Химия почв. М., 1992.
63. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Гумусное состояние почв как функция их биологической активности // Почвоведение. 1984. № 9. С. 39 – 49.
64. Орлов Д.С., Минько О.И., Демин В.В. и др. О природе и механизмах образования металл – гумусовых комплексов // Почвоведение. 1988. № 9. С. 43 – 52.
65. Орлова Н.Е., Бакина Л.Г., Плотникова Т.А. Взаимодействие гуминовых кислот с кальцием и известкование почв // Почвоведение. 1992. № 1. С. 120 – 123.
66. Панасин В.И. Микроэлементы и урожай. Калининград, 1995.
67. Панасин В.И., Дедков В.П., Рымаренко Д.А., Саврасова Т.А. Содержание и распространение йода в экосистемах Калининградской области. Калининград, 2002.
68. Панасин В.И., Рымаренко Д.А., Шарамова В.Г. Особенности гумусного состояния дерново-подзолистых почв Калининградской области // Проблемы сельского хозяйства: Сб. науч. тр. КГТУ. Калининград, 1999. С. 146 – 151.
69. Панасин В.И., Слобожанинова В.Д. Агрохимические аспекты распространения меди в агроэкосистемах Калининградской области. Калининград, 2003.
70. Панасин В.И., Слобожанинова В.Д., Лопатина Н.В. Сера и урожай. Калининград, 1997.
71. Панасин В.И., Слобожанинова В.Д., Новикова С.И. Агрохимическая характеристика почв Калининградской области. Калининград, 1997.

Библиографический список

72. Панасин В.И., Слобожанинова В.Д., Чашкина А.В. Применение удобрений в Калининградской области. Калининград, 1997.
73. Пейве Я.В. Агрохимия и биохимия микроэлементов. М., 1980.
74. Пестряков В.К. Окультуривание почв Северо-Запада. Л., 1977.
75. Плотникова З.М., Комиссаров Н.Д. Содержание йода в низинных торфах Северного Зауралья и его распределение по компонентам органического вещества // Агрохимия. 1987. № 7. С. 83 – 88.
76. Пономарева В.В. Теория подзолообразовательного процесса. М.; Л., 1964.
77. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л., 1980.
78. Попов А.В., Аврова Н.П. Биологизация земледелия в Северо-Западной зоне // Земледелие. 2001. № 3. С. 16 – 17.
79. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв. / Под ред. Л.Л. Шишова. М., 1984.
80. Романова Т.А. Генезис почв Белоруссии // Почвоведение. 1999. № 9. С. 1076 – 1084.
81. Рымаренко Д.А., Панасин В.И. Влияние избыточных количеств кальцийсодержащих мелиорантов на количество и качество гумуса // Современные проблемы сельского хозяйства: Сб. науч. тр. КГТУ. Калининград, 2000. С. 107 – 114.
82. Сафонов А.П. О процессах гумификации растительных остатков и органических удобрений в пахотных дерново-подзолистых почвах // Гумус и почвообразование: Сб. науч. тр. СПбГАУ. СПб., 1996. С. 14 – 24.
83. Симаков В.Н., Пилипушко В.Н. Изучение комплексообразования Со с гуминовыми и фульвокислотами методом высокочастотного титрования // Почвоведение. 1973. № 4. С. 23 – 28.
84. Сиротенко О.Д., Романенков В.А., Шевцова Л.К. Имитационная система поддержки и обобщения результатов многолетних полевых опытов // Агрохимия. 2003. № 10. С. 75 – 84.
85. Степанова М.Д. Взаимодействие микроэлементов с органическим веществом почв // Почвоведение. 1974. № 12. С. 70 – 73.
86. Тарарина Л.Ф. Влияние гуминовой кислоты и гуматов некоторых металлов на окислительно-восстановительные процессы в почве // Почвоведение. 1992. № 1. С. 68 – 71.

87. Терентьева М.Ю. Интегративный характер эрозии почв Земландского полуострова // Актуальные проблемы сельского хозяйства: Сб. науч. тр. КГТУ. Калининград, 2001. Ч. 1. С. 187 – 190.
88. Титова В.И., Морозова Е.В. Влияние длительного применения удобрений на подвижность гумусовых веществ в светло – серой лесной почве Среднего Поволжья // Гумус и почвообразование: Сб. науч. тр. СПбГАУ. СПб., 1996. С. 70 – 74.
89. Тушкин С.Н. Климатообразующие факторы Калининградской области // Актуальные проблемы сельского хозяйства: Сб. науч. тр. КГТУ. Калининград, 2001. Ч. 1. С. 35 – 50.
90. Турнас П.А. Из опыта прошлого по культуре кормовых растений на мелиорированных землях Калининградской области // Сб. науч. тр. КОМС. Калининград, 1959. Вып. 1. С. 188 – 198.
91. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в плодородии. М., 1965.
92. Угай Я.А. Общая и неорганическая химия. М., 1997.
93. Федоров Е.Е. и др. Климат Калининградской области // Почвы Калининградской области. М., 1981. С. 159 – 174.
94. Фёдорова Т.Е., Кушнерёв Д.Ф., Ващукевич Н.В. и др. ¹³C-ЯМР спектроскопия гуимновых кислот различного происхождения // Почвоведение. 2003. № 10. С. 1213 – 1217.
95. Фокин А.Д. Методические подходы и рекомендации по оценке главных составляющих гумусового баланса почв // Органическое вещество пахотных почв: Сб. науч. тр. Почв. ин-та им. Докучаева. М., 1987. С. 36 – 44.
96. Фокин А.Д., Карпухин А.А. Включение продуктов разложения растительных остатков (меченых ¹⁴C) в гумусовые вещества // Почвоведение. 1974. № 12. С. 72.
97. Церлинг В.В. Из истории сельского хозяйства Калининградской области // Агрохимические работы в Калининградской области. М., 1959. С. 7 – 19.
98. Чернов Д.В., Кириллова Е.Л. Содержание и запасы гумуса в дерново-подзолистых суглинистых залежных почвах // Гумус и почвообразование: Сб. науч. тр. СПбГАУ. СПб., 1996. С. 53 – 56.
99. Шишов Л.Л., Дьяконова К.В., Титова Н.А. Органическое вещество и плодородие почв // Органическое вещество пахотных почв: Сб. науч. тр. Почв. ин-та им. Докучаева. М., 1987. С. 5 – 12.

Библиографический список

100. Шпаковска Б., Жыгиньска-Балоняк И., Стригуцкий В.П. и др. Свойства гумусовых веществ грунтовых и поверхностных вод агроландшафта Великопольской низменности // Почвоведение. 2002. № 2. С. 158 – 162.
101. Ярков С.П. Почвы лесолуговой зоны. М., 1961.
102. Eich D. Einordnung der organischen Düngung in Komplexe Verfahren zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit. Feldwirtschaft, 1981. (22 Jg). H. 8. S. 326 – 328.
103. Hahne A. Betriebswirtschaftliche Studien zur Entwicklung und Organisation der deutschen Düngerwirtschaft. «Kühn – Archiv». Bd. 53. 1940.
104. Körschens M. Beziehungen zwischen Feinanteil, Ct- und Nt-Gehalt des Bodens // Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde. Berlin, 1980. Bd. 24. H. 9. S. 585 – 592.
105. Kubiena W.L. Bestimmungsbuch und Systematik der Boden Europas. Stuttgart, 1953.
106. Kundler P., Drechsler S., Kühn G. Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und der Erträge. Komplexe Verfahren. Landwirtschafts – ausstellung der DDR. Makkleeberg; Agrarbuch, 1982.
107. Mitscherlich E. Bodenkunde für Landwirte. Forstwirte und Gärtner, 1949.
108. Sauerlandt W. Untersuchungen über den Stallmist. Ztschr. f. Pfl., Düng. u. Bod. T.B. H. 11. 1934.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Почвенно-климатические условия гумусообразования	
1.1. Факторы, воздействующие на гумусообразование и закрепление органического вещества в почвенном профиле	6
1.2. Рельеф	21
1.3. Почвообразующие породы	28
1.4. Климат	35
1.5. Растительность	38
Глава 2. Содержание, запасы и состав гумуса в основных типах почв Калининградской области	
2.1. Особенности гумусного состояния почв под лесами ..	50
2.2. Особенности гумусного состояния почв пастбищ и сенокосов	61
2.3. Гумусное состояние почв пашни	77
Глава 3. Взаимосвязь гумусного состояния с основными агрохимическими характеристиками почв	
3.1. Азотный режим и гумусное состояние почв	116
3.2. Гумус и почвенно-поглощающий комплекс	130
3.3. Влияние органического вещества почв на содержание и доступность элементов питания	147
Глава 4. Пути оптимизации гумусного состояния почв пашни	
4.1. Баланс гумуса	174
4.2. Применение органических удобрений и другие методы оптимизации гумусного состояния почв	193
Заключение	201
Приложение	204
Библиографический список	212

Научное издание

**Владимир Ильич Панасин
Дмитрий Андреевич Рымаренко**

**ГУМУС И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Монография

Редактор М.В. Королева. Корректор М.В. Бурлетова
Оригинал-макет подготовлен Г.Е. Гришиной

Подписано в печать 30.07.2004 г.
Бумага для множительных аппаратов. Ризограф.
Формат 60×90 ¹/₁₆. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 13,8. Уч.-изд. л. 8,5.
Тираж 200 экз. Заказ .

Издательство Калининградского государственного университета
236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14