

11. Растворова О.В. Физика почв (практическое руководство). – Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. – 196 с.
12. Ревут И.Б. Физика почв. – Л.: Колос, 1972. – 368 с.
13. Рожков В.А., Карпачевский Л.О. Лесной покров России и охрана почв // Почвоведение. – 2006. – № 10. – С. 1157–1164.
14. Смольянинов И.И. Почвообразующее воздействие сосны и березы на различных почвах // Тр. 1-й сибир. конф. почвоведов. – Красноярск, 1962. – С. 65–80.
15. Смольянинов И.И., Мигунова Е.С., Гладкий А.С. Почвенная лаборатория лесхоза. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – 144 с.
16. Ткаченко М.Е. Влияние отдельных древесных пород на почву // Почвоведение. – 1939. – № 10. – С. 3–16.
17. Тюлин А.Ф. Вопросы почвенной структуры в лесу (о механизме накопления гумуса в почве под лесом) // Почвоведение. – 1955. – № 1. – С. 33–44.
18. Фирсова В.П., Кулай Г.А., Ржанникова Г.К. К вопросу о влиянии смены пород на химические и микробиологические свойства дерново-подзолистых почв Зауралья // Тр. Ин-та биол. УФ АН СССР. – Свердловск, 1966. – С. 187–195.
19. Шакиров К.Ш. Влияние различных лесных насаждений на почвообразовательный процесс. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1961. – 63 с.
20. Хан Д.В. Влияние перегнойных веществ, состава минералов и обменных катионов на образование водопрочных агрегатов в чернозёмных почвах // Почвоведение. – 1957. – № 4. – С. 63–70.



УДК 631.40

В.В. Чупрова

#### МИНЕРАЛИЗУЕМЫЙ ПУЛ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ ЮГА СРЕДНЕЙ СИБИРИ

*В статье обсуждаются вопросы структурно-функциональной организации почвенного органического вещества и роли его компонентов в обеспечении экологической устойчивости почвы. Минерализуемый пул органического вещества, представленный растительными остатками, микроббиомассой и подвижным гумусом, достигает в агрочерноземах Средней Сибири 19–28 т С/га. Особенности компонентного состава минерализуемого органического вещества отражают соотношение процессов поступления и разложения растительных остатков, новообразования гумуса и активности микробиоты.*

**Ключевые слова:** почва, минерализуемое органическое вещество, растительные остатки, микробная биомасса, подвижный гумус, новообразованный гумус, устойчивость к агрогенным воздействиям.

V.V. Chuprova

#### ORGANIC SUBSTANCE MINERALIZED POOL IN AGRICULTURAL CHERNOZEMS OF THE MIDDLE SIBERIA SOUTH

*The issues of the soil organic substance structural-functional organization and the role of its components in soil ecological stability provision are discussed in the article. The organic substance mineralized pool presented by the vegetative remains, microbial biomass and mobile humus, reaches 19–28 t C/hectare in Middle Siberia agricultural chernozems. The component structure peculiarities of mineralized organic substance reflect the process correlation of vegetative remain entrance and decomposition, humus new formation and microbiota activity.*

**Key words:** soil, mineralized organic substance, vegetative remains, microbial biomass, mobile humus, neo-genic humus, resistance to agrogen influence.

**Введение.** По современным представлениям [3,6], органическое вещество (ОВ) почвы включает частично и полностью трансформированные растительные и животные остатки, микробную биомассу, экскреции, биомолекулы и гумусовые вещества, располагающиеся в минеральной почвенной массе. Время существования этих компонентов ОВ составляет от нескольких часов и суток до тысячелетий. Все компоненты ОВ по степени устойчивости принято [1,2,4,7,10] разделять на 2 группы: минерализуемую (метаболизируемую, лабильную, мобильную, подвижную, по терминологии разных авторов), легко и быстро изменяющуюся под воздействием природных и антропогенных воздействий, и устойчивую (стабильную, неподвижную, инертную,

пассивную), сохраняющуюся в течение длительного периода времени. Минерализуемые органические компоненты обуславливают динамику современных почвенных процессов, а устойчивые характеризуют генетическую принадлежность и формируют наиболее консервативные признаки почв.

Экспериментальное разделение компонентов ОВ по степени устойчивости является сложной научной проблемой. Эта часть почвы по генезису, структуре и составу отличается гетерогенностью и многообразием функций ее компонентов. К факторам, вызывающим гетерогенность ОВ, относятся пространственная неоднородность растительности и растительных остатков по запасам и химическому составу, варьирование гидротермических условий разложения, неодинаковая активность мезо- и микрофауны. Разнообразие и сложность функций связана с полихимизмом соединений, составляющих ОВ, что, в свою очередь, обеспечивает как устойчивые, так и мобилизационные и регуляторные признаки почв. Количественные оценки минерализуемой части ОВ необходимы для решения многих задач агрономического и экологического почвоведения.

**Цель исследований.** Обобщение экспериментальных данных по минерализуемому пулу органического вещества агрочерноземов лесостепной и степной зон Средней Сибири.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводились на разных подтипах агрочерноземов тяжело- и легкосуглинистых в лесостепной зоне Красноярского края и степной зоне Хакасии и Тувы. В почвенных образцах выделяли следующие компоненты минерализуемого ОВ: корни, мортмассу, микробную биомассу и подвижный гумус (водо- и щелочерастворимые соединения). Запасы корней и мортмассы учитывали методом отмывки почвенных монолитов на сите 0,25 мм в проточной воде. Определение концентрации углерода в корнях и мортмассе выполняли по Анстету, микроббиомассы – регидратационным методом. Подвижные органические соединения извлекали последовательно из одной навески почвенных проб: водорастворимые – методом бихроматной окисляемости, щелочерастворимые – в 0,1 н NaOH без декальцирования по методу Тюрина.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Многолетними исследованиями автора установлено, что запасы органического вещества в агрочерноземах региона постепенно убывают в ряду: глинисто-иллювиальные оподзоленные < глинисто-иллювиальные типичные (выщелоченные) < криогенно-мицелярные (обыкновенные) < текстурно-карбонатные (южные) (рис. 1). В соответствии с системой показателей гумусного состояния большинство агрочерноземов оцениваются высоким уровнем, что определяет не только высокое потенциальное плодородие этих почв, но и устойчивость их положительных качеств. Лишь в криогенно-мицелярных агрочерноземах Минусинской котловины запасы органического вещества снижаются до среднего уровня, а в текстурно-карбонатных соответствуют низкому. Сравнение статистических моделей содержания, запасов и профильного распределения ОВ в одноименных агрочерноземах разных лесостепных регионов Красноярского края указывает на их сходство [8].

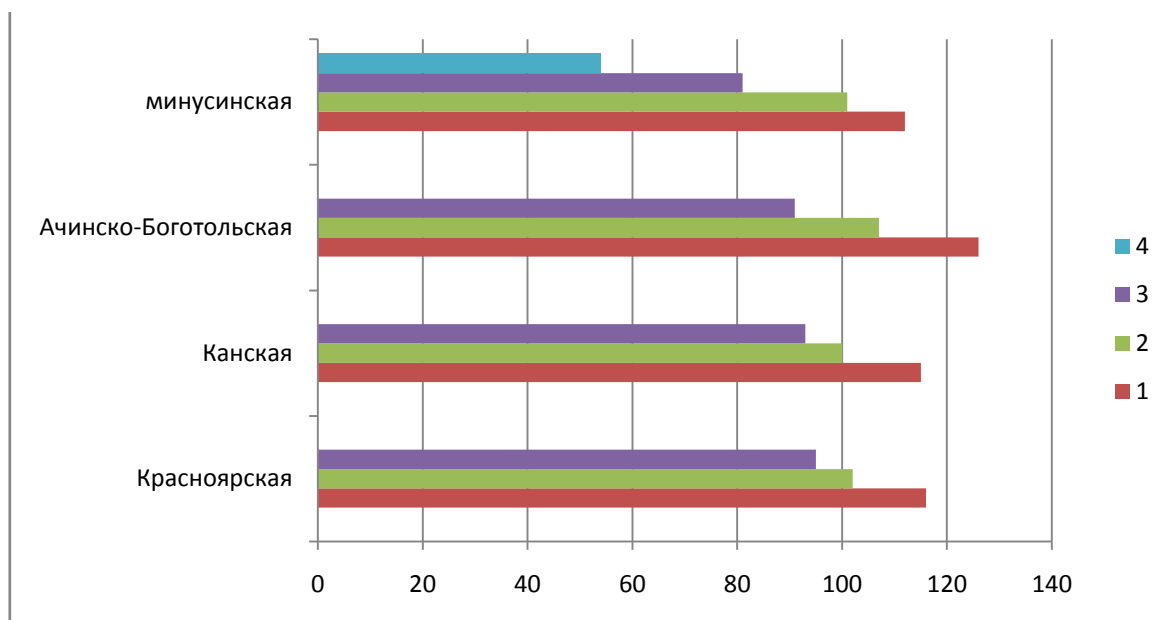


Рис. 1. Запасы органического вещества в агрочерноземах Красноярского края, т С/га в слое 0–20 см (среднестатистические данные): 1 – глинисто-иллювиальный оподзоленный; 2 – глинисто-иллювиальный типичный (выщелоченный); 3 – криогенно-мицелярный (обыкновенный); 4 – текстурно-карбонатный (южный)

Минерализуемый пул ОВ в агропочвах рассматриваем как совокупность растительных остатков, микробной биомассы и подвижного гумуса. В научной литературе [2,5,7] сложилась неоднозначная система понятий этой части ОВ, что свидетельствует о необходимости ее унифицировать. Встречаются работы, в которых под разными названиями подразумеваются однотипные по сути компоненты (составляющие) ОВ, а за формальной близостью отдельных компонентов стоят различные механизмы их функционирования. Это, прежде всего, относится к терминам «детрит», «лабильное», «мобильное», «подвижное» ОВ, которые употребляются как синонимы.

Растительная масса, включающая «прежнюю» мортмассу (трансформированный опад прошлых лет) и «свежий» опад надземных и подземных органов сельскохозяйственных растений, быстро вовлекается в процессы разложения [8]. Это незаменимый источник воспроизводства почвенной органики, элементов минерального питания, субстрат для гетеротрофных микроорганизмов, источник органических соединений неспецифической и специфической природы.

Как показали исследования (табл. 1), запас мортмассы в полях зернопаропропашного севооборота в начале вегетационного периода составляет 0,88–1,20 т С/га, в полях зернотравяного – 1,12–2,32 т С/га. Весенняя или «прежняя» мортмасса представляет собой довольно гетерогенную смесь растительных остатков, включающую хорошо различимые визуально крупные фрагменты, слабо затронутые минерализацией, и тонкие «трухообразные» фрагменты растительного материала, утратившие морфологические признаки. Запас мортмассы в течение всего вегетационного сезона пополняется за счет отмирания корней и надземных органов растений. Величина ежегодно поступающих в почву растительных остатков определяется интенсивностью продукционного процесса, зависящего, в свою очередь, от почвенно-климатических условий той или иной территории и агротехнических приемов возделывания полевых культур. Летнее, до уборки, отмирание корней в агроценозах региона достигает 6–58 % их продукции [8]. Такой широкий диапазон изменения массы отмирающих корней свидетельствует о влиянии многих факторов на этот процесс, например, погодных условий сезона, биологических особенностей культуры и места ее в севообороте, характера распространения корней вглубь профиля. Как правило, при засухе прирост корней замедляется, а отмирание усиливается. При неглубокой корневой системе, размещаемой в поверхностных слоях почвы, отмирание также возрастает.

Таблица 1

**Запасы растительных остатков в полях севооборотов на агрочерноземе глинисто-иллювиальном типичном тяжелосуглинистом, т С/га в слое 0–20 см**

Севооборот	«Прежняя» мортмасса	Поступление растительных остатков				Всего
		летом до уборки с		осенью после уборки с		
		надземными органами	отмершими корнями	поживными остатками	отмершими корнями	
<b>Зернопаропропашной</b>						
Пар	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80
Пшеница	1,09	0,36	0,59	0,46	0,44	2,94
Пшеница	0,98	1,09	0,19	0,60	1,03	3,89
Кукуруза	1,95	0,78	0,13	0,66	2,78	6,30
Пшеница	1,20	0,23	0,46	0,53	1,51	3,93
Ячмень	0,88	0,64	0,60	0,34	0,70	3,16
<b>Зернотравяной</b>						
Пласт люцерны	2,32	1,02	1,21	1,28	3,59	9,42
Пшеница	1,58	0,50	0,39	0,51	0,78	3,76
Овес	1,12	0,12	0,25	0,57	1,45	3,51

Количество растительных остатков, поступающих в почву до уборки урожая, обусловлено не только отмиранием корней, но и отмиранием некоторой части надземных органов растений. Потери надземной фитомассы в зерновых севооборотах начинаются с фазы кущения и продолжаются с различной интенсивно-

стью до полной спелости. Наибольшей величины они достигают в агроценозах второй зерновой культуры после пара или кукурузы по сравнению с первой по этим предшественникам. Соотношение между массой отмерших летом надземных и подземных органов очень разное в полях изученных севооборотов. В некоторых преобладает количество надземных органов, в других – корни.

Летнее, обычно не учитываемое поступление растительных остатков в почву, варьирует от 0,37 до 2,23 т С/га. Это составляет 15–54 % от полного поступления растительных остатков за год. Суммарное поступление отмирающих летом надземных и подземных органов растений в полях зернопаропропашного севооборота достигает 5,07 т С/га за 6 лет (0,84 т С/га в год), зернотравяного – 3,49 т С/га за 3 года (1,16 т С/га в год).

Во время уборки урожая в изученных севооборотах солома вместе с зерном, надземная масса кукурузы и люцерны вывозились с полей. На поверхности почвы оставались пожнивные остатки, масса которых изменяется в пределах 0,34–1,28 т С/га. За ротацию 6-польного зернопаропропашного севооборота поступление в почву пожнивных остатков равняется 2,59 т С/га (0,43 т С/га в год), 3-польного зернотравяного – 2,36 т С/га (0,79 т С/га в год). Запасы надземных пожнивных остатков после уборки могут быть значительно выше, если солома зерновых культур не вывозится с поля. Поэтому количество пожнивных остатков в большей мере зависит от технологии уборки, чем от урожайности. Эта зависимость прямо противоположна величине отчуждаемого растительного вещества с урожаем. Внедрение ресурсосберегающих технологий предусматривает минимальную обработку почвы и оставление соломы, измельченной комбайном во время уборки, на поверхности почвы. Количественные оценки растительного компонента почвенного ОВ меняются и при внесении зеленых (сидератных) удобрений (табл. 2). Поступление дополнительных порций «свежего» растительного материала с соломой и сидератами способствует увеличению минерализуемого пула ОВ и, обуславливая «затравочный эффект», повышает интенсивность его разложения и высвобождения питательных элементов. Установлено [8], что интенсивность минерализации определяется в первую очередь запасом растительного вещества в почве, а затем уже гидротермическими условиями. Так, даже при дефиците почвенной воды разложение растительных остатков протекает с большой интенсивностью, стимулированное непрерывным в течение лета поступлением в почву свежего растительного материала.

Таблица 2

**Поступление растительного вещества с сидератными удобрениями**

Показатель	Паровое поле с запашкой		
	озимой ржи	донника	отавы донника
«Прежняя» мортмасса, т С/га	2,44	1,57	1,50
Поступило: т С/га	2,32	4,55	2,15
% к мортмассе	95	290	143

Осеннее поступление корней в почву часто в 2–21 раз выше летнего и лишь в отдельных полях количественные оценки летнего и послеуборочного поступления корней в почву практически одинаковы. Общее поступление растительных остатков за 6 лет ротации зернопаропропашного севооборота составляет 19,92 т С/га, за 3 года ротации зернотравяного севооборота – 11,67 т С/га, или соответственно 3,32 и 3,89 т С/га в среднем за год. Отношение корни/мортмасса в разных полях изменяется в пределах 0,7–2,6. Таким образом, вклад живых корней в общее подземное растительное вещество варьирует от 40 до 70 %.

Агрочерноземы с разной мощностью гумусово-аккумулятивного горизонта весьма четко различаются по запасам и характеру распределения растительных компонентов ОВ (рис. 2). Агроценоз пшеницы в степной зоне на текстурно-карбонатном агрочерноземе характеризуется большей аккумуляцией растительного вещества в верхнем (0–20 см) слое по сравнению с агроценозами пшеницы в лесостепной зоне на криогенно-мицелярном агрочерноземе. В маломощном агрочерноземе, в отличие от среднемощного, наблюдаются небольшие запасы растительных остатков и равномерное распределение их по глубине. Эти особенности приводят к провинциальным различиям в показателях гумусного состояния почв.

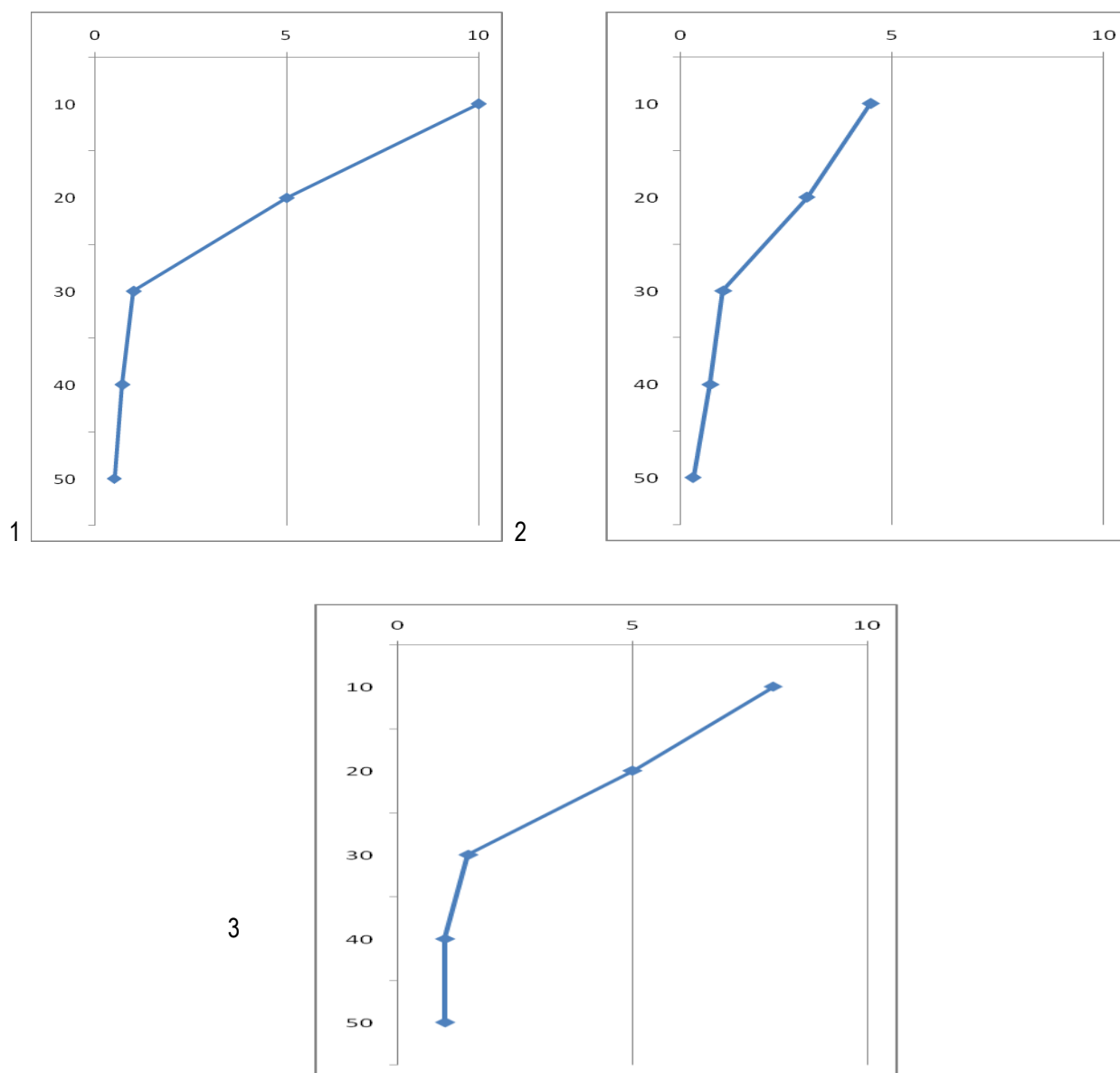


Рис. 2. Запасы растительных компонентов органического вещества в агрочерноземах:  
 1 – криогенно-мицелярный среднемоощный; 2 – криогенно-мицелярный маломощный;  
 3 – текстурно-карбонатный среднемоощный

Микробная биомасса имеет принципиальное значение для метаболизма почвы. Установлено, что микробная биомасса в пахотном слое агрочерноземов меняется в пределах 1,5–3,0 т С/га. Доля биомассы микроорганизмов в органическом веществе агрочернозема текстурно-карбонатного выше, чем глинисто-иллювиального. Согласованной зависимости между запасами  $C_{mb}$  и количеством поступающих в почву растительных остатков не отмечается, что свидетельствует о довольно высокой устойчивости активной части микроббиомассы в пахотных почвах к поступлению или не поступлению новых порций растительного вещества на разложение [9].

Подвижный гумус характеризуется углеродом соединений, легко переходящих в растворимую форму (водо- и щелочерастворимые соединения). Водорастворимые органические вещества – своеобразный продукт функционирования сообществ живых организмов и важная форма стадийной трансформации растительных остатков. Они состоят из веществ неспецифической (органические кислоты, аминокислоты и углеводы) и специфической природы (фульвокислоты). Щелочерастворимые органические соединения, будучи продуктами гумификации, являются «молодыми» (новообразованными) гумусовыми кислотами. В процессах дальнейшего преобразования они либо минерализуются, либо входят в состав стабильного гумуса. Подвиж-

ный гумус, выполняя важные почвенно-экологические функции, постоянно обновляется и реагирует на любые воздействия, в т.ч. агрогенные.

Количественные оценки подвижного гумуса зависят от запасов ОВ в почвах (табл. 3), но подвержены сезонной динамике. Доля подвижного гумуса в составе минерализуемого ОВ достигает 69–77 %. Сезонная изменчивость концентрации подвижного гумуса определяется неодинаковой скоростью отмирания, поступления и разложения растительных остатков, а также различной интенсивностью их трансформации в новообразованные гумусовые вещества. Коэффициенты вариации пространственной изменчивости колеблются в пределах 8–45 %.

Таблица 3

**Запас минерализуемого пула органического вещества в агрочерноземах (агроценоз пшеницы), т С/га**

Компонент ОВ	Агрочернозем		
	глинисто-иллювиальный	криогенно-мицелярный	текстурно-карбонатный
$C_{орг}$	112,02	96,28	58,90
$C_{минерализуемый}$	27,73	20,43	18,52
$C_{растительные\ остатки}$	6,60	6,30	4,19
$C_{подвижный\ гумус:}$	21,13	14,13	14,33
$C_{H_2O}$	0,69	0,54	0,79
$C_{NaOH}$	20,44	13,59	13,54
$C_{гк} \cdot C_{фк}$	1,27	0,96	0,93

Содержание водорастворимых соединений в составе подвижного гумуса невелико, но достаточно динамично. В выборке данных оно порой изменяется в 2–4 раза. В ряду агрочерноземов, распространенных в направлении от лесостепной зоны к степной природной зоне, наблюдается постепенное увеличение пула  $C_{H_2O}$ . Возможно при иссушении почвы происходят физико-химические изменения, приводящие к увеличению растворимости органических веществ неспецифической природы в воде. При этом растворимость гумусовых веществ в 0,1 н NaOH-вытяжке текстурно-карбонатного агрочернозема не повышается, поскольку высушивание почвы вызывает закрепление или конденсирование новообразованных гумусовых соединений в ядре молекулы, а значит, приводит к относительному уменьшению доли активной части молекулы. Таким образом, полученные оценки характеризуют особенности бюджета органического вещества разных почв.

Преобладающими компонентами подвижного гумуса являются гумусовые вещества, растворимые в 0,1 н NaOH. Наиболее высокое содержание их отмечается в агрочерноземе глинисто-иллювиальном. В течение вегетационного сезона наблюдается обычно увеличение к осени углерода органических соединений, перешедших в щелочную вытяжку. Вещества, осаждаемые в щелочном гидролизате кислотой, рассматриваются как молодые гуминовые кислоты. Они содержат большое количество фенольных гидроксиллов, амино- и амидогрупп, обогащены водородом и азотом, имеют упрощенное строение молекулы [6]. Соотношение запасов подвижных гуминовых и фульвокислот сужается в ряду агрочерноземов: глинисто-иллювиальный > криогенно-мицелярный > текстурно-карбонатный.

Таким образом, пул минерализуемого органического вещества в агрочерноземах региона варьирует в пределах 19–28 т С/га, что составляет 21–31 % от запасов  $C_{орг}$ . В составе минерализуемой органики доминируют подвижные продукты гумуса.

Выделение минерализуемого пула ОВ и распределение в нем разных компонентов позволяет точнее оценить потери ОВ (в т.ч. гумуса) из пахотных почв, определить возможные механизмы потерь и функции компонентов пула в этих процессах. В таблице 4 приводятся количественные оценки потерь ОВ из агрочерноземов юга Средней Сибири, происходящие за счет минерализации растительных остатков и подвижного гумуса. Одновременно при разложении растительного материала отмечается синтез новообразованного гумуса. На его образование расходуется 22–25 % годовой потери углерода при разложении растительных остатков. В дальнейшем этот новообразованный гумус может либо заместить минерализовавшийся (иначе говоря, «сработанный») подвижный компонент ОВ, либо дополнительно аккумулироваться в гумусе, повышая его запасы. Однако увеличения запасов гумуса в изученных почвах не наблюдается. Напротив, отмечается минерализация гумуса, интенсивность которой возрастает в 2,5 раза в агрочерноземах Хакасии и в 3 раза в агрочерноземах Тувы по сравнению с подобными почвами Красноярского края. Минерализуются преимущественно подвижные продукты гумуса как прежнего («старого»), так и новообразованного. Потери подвижных соединений прежнего гумуса в агрочерноземах Красноярского края на 91 % компенсируются новообразованным гумусом, в агрочерноземах Хакасии – на 34 %, в агрочерноземах Тувы – только на 16 %.

Таблица 4

Потери минерализуемого органического вещества в агрочерноземах, кг С / га в слое 0–20 см в год

Процесс	Лесостепь (Красноярский край)	Степь	
		Хакасия	Тува
Разложение растительных остатков:	910	764	524
минерализация	701	573	408
гумификация	209	191	116
Минерализация подвижного гумуса	230	565	705
Минерализация стабильного гумуса	3	11	15
Минерализация гумуса	233	576	720
Суммарная минерализация	934	1149	1128

Таким образом, оценки минерализуемых компонентов ОВ дают возможность описания структурно-функциональной организации почв, а также их реакции на агрогенные воздействия. Сложная по составу минерализуемая часть ОВ почвы представляет собой ближайший резерв для микробиологической трансформации, формирования потока CO<sub>2</sub> в атмосферу, синтеза гумусовых веществ и вовлечения биогенных элементов в круговорот, поэтому может использоваться в качестве критерия для оценки режимов и плодородия почв.

### Выводы

1. Минерализуемый пул органического вещества агрочерноземов Средней Сибири достигает 19–28 т С/га. Особенности количественного и качественного состава минерализуемого пула отражают соотношение процессов поступления и разложения растительных остатков, новообразования гумусовых веществ и активности микробиоты.

2. Образование разных компонентов минерализуемого пула органического вещества в агрочерноземах определяет условия их функционирования, продуктивность и устойчивость к агрогенным воздействиям.

### Литература

1. *Ведрова Э.Ф.* Деструкционные процессы в углеродном цикле лесных экосистем Енисейского меридиана: дис. ... д-ра биол. наук. – Красноярск, 2005. – 60 с.
2. *Ганжара Н.Ф.* Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв. – М.: Агроконсалт, 1997. – 82 с.
3. *Гришина Л.А.* Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 243 с.
4. *Козут Б.М.* Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах // Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 308–316.
5. *Козут Б.М., Семенов В.М.* Трансформируемый пул органического вещества типичного чернозема и его экспериментальная оценка // Почвоведение в России: вызовы современности, основные направления развития: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. – М., 2012. – С.332–336.
6. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 332 с.
7. *Тейт Р.* Органическое вещество почвы: биологические и экологические аспекты: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 400 с.
8. *Чупрова В.В.* Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири. – Красноярск: Изд-во КГУ, 1997. – 166 с.
9. *Чупрова В.В., Белоусов А.А., Едимечев Ю.Ф.* Влияние агрогенных воздействий на трансформацию легкогидролизуемого органического вещества в черноземе Красноярской лесостепи // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2005. – № 1. – С. 3–8.
10. *Шарков И.Н.* Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Новосибирск, 1997. – 37 с.