

УДК631.4

## **ЗАПАСЫ, СОСТАВ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ**

© 2017 г. В. В. Чупрова

*Красноярский государственный аграрный университет,  
Россия, 660049, Красноярск, пр. Мира, 90*

*e-mail: soil-valentina@yandex.ru*

Рассмотрены состав и агрогенная трансформация органического вещества в черноземах Средней Сибири (в пределах Красноярского края, Хакасии и Тывы). Исследования основаны на научных идеях академика И.В. Тюрина, в творческой деятельности которого был красноярский период. Минерализуемый (трансформируемый) пул органического вещества в черноземах (19–28 т С/га) характеризуется совокупностью растительных остатков, микробной биомассы и подвижного гумуса. Поступление растительных остатков в почву зернопаропропашного севооборота составляет 3.32 т С/га в год, зернотравяного – 3.89 т С/га в год. Вклад живых корней достигает 40–70% годичных запасов растительных остатков. Поступление дополнительных порций “свежего” растительного материала с соломой и сидератами способствует увеличению количества минерализуемого пула органического вещества и интенсивности его разложения. Величина микробной биомассы в пахотном слое черноземов колеблется от 1.5 до 3.0 т С/га. Разложение растительных остатков протекает с кинетическим потенциалом  $k = 0.37–0.44 \text{ год}^{-1}$ . Доля подвижного гумуса (водо- и щелочнорастворимые соединения) в составе минерализуемого органического вещества черноземов достигает 69–77%. Сезонная изменчивость концентрации подвижного гумуса определяется неодинаковой скоростью отмирания, поступления и разложения растительных остатков, различной интенсивностью их трансформации в новообразованные гумусовые вещества. Потери подвижных соединений гумуса в почвах Красноярского края (0.23 т С/га в год) составляют около 7% его затрат на формирование чистой первичной продукции и компенсируются здесь новообразованным гумусом на 91%, в почвах Хакасии – на 34%, Тывы – только на 16%.

*Ключевые слова:* минерализуемое органическое вещество, подвижный гумус, параметры гумусного состояния, мортмасса

**DOI:** 10.19047/0136-1694-2017-90-96-115

## ВВЕДЕНИЕ

Почвенное органическое вещество (**ОВ**) является источником питания растений, фактором плодородия почвы и агропроизводственным ресурсом устойчивого земледелия. Многообразие свойств и функций ОВ определяет интерес к теоретическому познанию этого компонента почвы в разные исторические периоды. Выдающаяся роль в фундаментальной разработке проблемы ОВ и его роли в генезисе и плодородии почв принадлежит Ивану Владимировичу Тюрину. Географические закономерности гумусообразования и разнообразие природы гумуса в почвах ученый объяснял как результат взаимодействия комплекса факторов и условий почвообразования. Среди них особо выделяет тип растительности, характер поступления в почву органических остатков, гидротермические условия, влияющие на процессы минерализации и гумификации ([Кононова, 1962](#)). Предложенная И.В. Тюриным классификация типов гумуса по соотношению гуминовых и фульвокислот является важным этапом в развитии учения о гумусе и генезисе почв. Велика заслуга И.В. Тюрина в постановке вопроса о трансформации ОВ почв сельскохозяйственного использования. Разработанные им принципы позволяют использовать в настоящий период новые подходы для оценки роли быстро трансформируемой части ОВ в плодородии почв и питания растений.

В конце 1941 г. по приказу Наркома лесной промышленности СССР И.В. Тюрин был эвакуирован из Ленинграда и получил назначение в Сибирский лесотехнический институт (г. Красноярск), где был избран заведующим объединенной кафедрой лесоводства, лесных культур и древесиноведения (позднее переименованной по личному заявлению в кафедру почвоведения, лесоводства, лесных культур и древесиноведения). В красноярский период деятельности (декабрь 1941–ноябрь 1943 гг.) ученый, используя свой богатый опыт педагога, читает лекции и проводит учебную практику студентам первого курса лесохозяйственного факультета, организует лабораторию почвоведения. Как свидетельствуют архивные документы, Иван Владимирович формирует творческую атмосферу и расширяет научные интересы на кафедре, вовлекает студентов в научно-исследовательскую работу лесоустроительных партий, экспедиций по изучению лесов Сибири. Практические

задачи военного времени потребовали создание в Красноярском крае Координационного научно-исследовательского Совета, при котором была организована лесная секция, где активно работали ученые Сибирского лесотехнического института, в том числе профессор И.В. Тюрин. Он стремился направить деятельность кафедры на внедрение знаний о почвах края в лесную и сельскохозяйственную отрасли народного хозяйства. При его непосредственном участии были проведены полевые работы по изучению почв учебного хозяйства “Лалетино” и заповедника “Столбы”. Результаты этих работ не были опубликованы, но они были весьма полезны для тех, кто в этот тяжелый военный период учился и готовился стать специалистом. Несмотря на непродолжительное пребывание в сибирском лесном крае, Иван Владимирович Тюрин создал здесь научный задел в области лесного почвоведения ([Зонн, 1992](#)). Размышления о влиянии леса на плодородие почвы привели его к разработке классификации лесных площадей по их водоохранному и защитному влиянию, которая не утратила своего значения и в настоящее время. Он считал, что уменьшение лесных массивов и нерегулярные лесовосстановительные мероприятия отражаются на площади земель, пригодных для сельскохозяйственного использования. Вышедшая в конце красноярского периода, статья о водорастворимом гумусе (написанная еще до войны) раскрывает особенности влияния его на минеральную часть почвы и оподзоливание в результате биологических процессов, происходящих при большом участии корневой системы древесной растительности.

Научные идеи И.В. Тюрина до сих пор служат ориентиром в развитии исследований по ОВ почв региона. Они были организованы и продолжаются в лаборатории лесного почвоведения института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН и на кафедре почвоведения и агрохимии Красноярского сельскохозяйственного института (ныне аграрного университета). В итоге этих исследований получен большой объем экспериментальных данных о природе, составе, свойствах и функциях ОВ сибирских почв, количественных оценках продукционно-деструкционных процессов, описывающих цикл углерода в лесных и агроэкосистемах, динамике этих процессов при разных условиях окружающей среды, землепользования и агротехнологий.

Цель работы – исследовать компонентный состав ОБ и оценить агрогенное воздействие на его структуру и трансформацию в черноземах Средней Сибири (в пределах юга Красноярского края, Хакасии и Тывы).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для оценки структуры, запасов и трансформации ОБ в почвах использовали сравнительно-географический, сравнительно-аналитический и стационарный методы исследования. Маршруты охватили Красноярскую, Канскую, Ачинско-Боготольскую, Минусинскую лесостепи, расположенные в одноименных котловинах юга Красноярского края. В почвенном покрове региона преобладают черноземы. На пахотных массивах заложено около 550 разрезов, в которых выполнили анализ показателей гумусного состояния (содержание и запасы, профилное распределение и тип гумуса). Полученные результаты обработаны методом вариационной статистики.

Состав и оценки потерь минерализуемого (трансформируемого) ОБ определили в многолетних опытах учхоза “Миндерлинское” Сухобузимского района в Красноярской лесостепи (56.400548° N, 95. 903443° E) и на стационарных пробных площадях в степных зонах Хакасии (Усть-Абаканский район в Южно-Минусинской котловине, 53.853296°N, 89.755935° E) и Тывы (Тандинский район в Центрально-Тывинской котловине, 51.144094°N, 94.617177° E). Опытные поля в Красноярской лесостепи были созданы в севооборотах: зернопаропропашном, зернотравяном и зернопаровом с запашкой сидератов из озимой ржи, донника, отавы донника. На стационарных площадях Хакасии и Тывы были выбраны зернопаровые и зернокормовые севообороты, характерные для степной зоны. В почвенных образцах, отбираемых в 5–10 повторностях 3–5 раз в сезон, выделили следующие компоненты ОБ: корни, мортмассу, микробную биомассу, валовой и подвижный гумус (водо- и щелочнорастворимые 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 выполнили по Анстету, микроббиомассы – регидратационным методом, содержание гумуса и его групповой и фракционный состав – по методу Тюрина. Подвижные

органические соединения извлекали последовательно из одной навески почвенных проб: водорастворимые – методом бихроматной окисляемости, щелочнорастворимые – в 0.1 н. NaOH без декальцирования. По этим данным определили интенсивности процессов разложения растительных остатков и минерализации гумусовых веществ в пахотных почвах, используя балансовый метод (Титлянова и др., 1982).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По современным представлениям ([Тейт, 1991](#); [Ганжара, 1997](#); [Когут, 2003](#); [Семенов, Когут, 2015](#)) ОВ почвы включает частично и полностью трансформированные растительные и животные остатки, микробную биомассу, экскреции, биомолекулы и гумусовые вещества. Время существования этих компонентов ОВ составляет от нескольких часов и суток до тысячелетий. Все компоненты ОВ по степени устойчивости принято ([Ганжара и др., 1990](#); [Шарков, 1997](#); [Ведрова, 2005](#); [Когут, Семенов, 2012](#)) разделять на две группы: минерализуемую (трансформируемую, 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. Разнообразность и сложность функций связана с полихимизмом соединений, составляющих ОВ, что обеспечивает как устойчивые, так и мобилизационные и регуляторные признаки почв.

Полнота характеристик компонентов ОВ почв Средней Сибири неодинакова. Изучены показатели гумусового профиля черноземов, преобладающих почв в сельскохозяйственном землепользовании Красноярского края ([Бугаков, Чупрова, 1970](#); [Чупрова, 1997](#)). Полученные данные свидетельствуют, с одной стороны, о близости одноименных черноземов по островным лесостепям региона, а с другой – позволяют четко разграничить черноземы на подтиповом классификационном уровне (табл. 1, рис. 1). Содержание гумуса в черноземах всех лесостепных регионов постепенно убывает в ряду подтипов: оподзоленные > выщелоченные > обыкновенные > южные. В соответствии с системой показателей гумусного состояния ([Гришина, 1986](#)), черноземы оподзоленные оцениваются очень высоким содержанием гумуса, выщелоченные и обыкновенные – высоким, южные – средним. По запасам гумуса большинство черноземов характеризуется высоким уровнем, что определяет не только высокое потенциальное плодородие этих почв, но и устойчивость их положительных качеств.

Распределение гумуса по профилю разных подтипов черноземов специфично и отражает их подтиповые различия. Оподзоленные черноземы всех лесостепных регионов имеют наибольшую мощность гумусового горизонта по сравнению с выщелоченными и обыкновенными. Самым укороченным гумусовым профилем характеризуются обыкновенные и южные черноземы. Следовательно, в пределах лесостепной зоны по мере нарастания сухости климата происходят закономерные изменения мощности гумусового профиля почв.

Для гумусового профиля оподзоленных и выщелоченных черноземов характерно возрастающе-убывающее распределение гуминовых кислот; равномерно-убывающее – фульвокислот, убывающе-резковозрастающее – гуминов. Гумусовый профиль чернозема обыкновенного отличается равномерно убывающим распределением гуминовых кислот, равномерно-возрастающим – гуминов. Отметим, что содержание гуминов во всех изученных черноземах находится в обратной зависимости от количества гуминовых кислот: чем больше в составе гумуса гуминовых кислот, тем меньше – гуминов. Образование гуминов может происходить в результате изменения коллоидно-химических свойств гуминовых кислот под влиянием высушивания и промораживания, а также за счет прони-

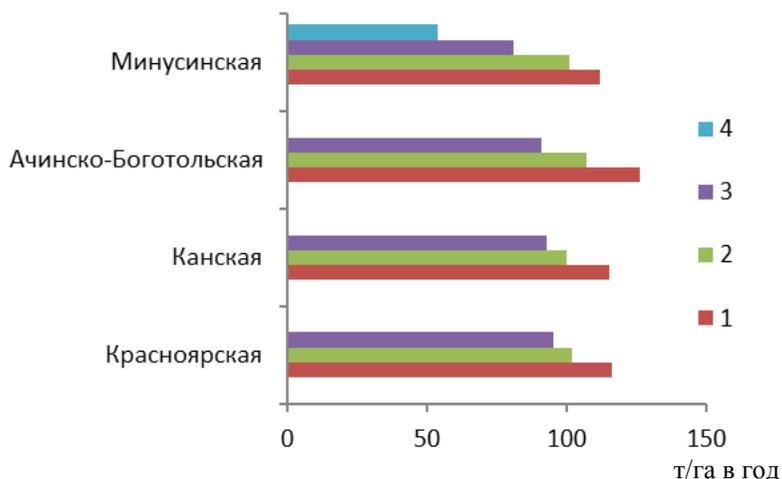
**Таблица 1.** Содержание гумуса в черноземах

Лесостепь	Чернозем	Глубина, см	<i>n</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>V</i>
				%	
Красноярская	Оподзоленный	0–20	23	10.30 ± 0.35	16
		20–40	17	7.00 ± 0.22	16
	Выщелоченный	0–20	108	8.41 ± 0.14	18
		20–40	101	5.95 ± 0.15	25
	Обыкновенный	0–20	53	7.71 ± 0.24	23
		20–40	42	5.34 ± 0.30	30
Канская	Оподзоленный	0–20	4	10.82 ± 1.27	24
		20–40	4	6.98 ± 1.42	41
	Выщелоченный	0–20	37	9.03 ± 0.58	22
		20–40	32	4.90 ± 0.67	53
	Обыкновенный	0–20	6	8.53 ± 0.58	17
		20–40	6	3.95 ± 0.28	18
Ачинско- Боготольская	Оподзоленный	0–20	5	11.56 ± 1.24	24
		20–40	5	8.06 ± 0.41	12
	Выщелоченный	0–20	4	9.78 ± 0.31	6
		20–40	3	6.70 ± 0.69	18
	Обыкновенный	0–20	3	8.33 ± 0.83	17
		20–40	3	3.50 ± 0.36	18
Минусинская	Оподзоленный	0–20	14	10.30 ± 0.54	20
		20–40	8	6.17 ± 0.54	25
	Выщелоченный	0–20	18	9.17 ± 0.31	14
		20–40	9	6.65 ± 0.73	33
	Обыкновенный	0–20	41	7.54 ± 0.33	28
		Южный	0–20	27	4.94 ± 0.28

Примечание. *n* – повторность (объем выборки), *M* ± *m* – среднее арифметическое и его ошибка, *V* – коэффициент варьирования.

новения неспецифических низкомолекулярных продуктов разложения растительных остатков в межслоевые промежутки глинистых минералов, где это органическое вещество закрепляется и прочно связывается.

По величине отношения  $C_{ГК}/C_{Фк}$  черноземы относятся к почвам с фульватно-гуматным типом гумуса. Степень гумификации органического вещества высокая. Зона преимущественного накопления гуминовых кислот в оподзоленных черноземах охватывает гораздо большую часть профиля, чем в выщелоченных и обыкновенных. Господство фульвокислот и слишком малое отношение



**Рис. 1.** Запасы гумуса в слое 0–20 см черноземов лесостепей Красноярского края (среднестатистические данные): 1 – оподзоленном, 2 – выщелоченном, 3 – обыкновенном, 4 – южном.

$C_{ГК}/C_{ФК}$  в южном черноземе совпадает с резким уменьшением содержания общего гумуса. Сравнивая размеры накопления гумуса в разных подтипах черноземов любого лесостепного региона Красноярского края с относительным содержанием группы гуминовых кислот, отметим, что условия, необходимые для синтеза и накопления гуминовых кислот, являются одновременно благоприятными и для накопления гумуса. Таким образом, наблюдается определенная сопряженность количественного накопления гумуса с его качественным (групповым) составом, о чем впервые было сказано И.В. Тюриным (1966).

Гумус черноземов имеет сложный многокомпонентный состав. В гумусе черноземов оподзоленных обнаружено практически одинаковое содержание свободных гуминовых кислот, извлекаемых при непосредственной обработке почвы 0.1 н. NaOH (ГК1), и гуминовых кислот, связанных с кальцием (ГК2). Фракция ГК1, устойчиво распределяющаяся в пределах профиля оподзоленного чернозема, характеризует подвижные формы гумусовых веществ и свидетельствует об отличающихся условиях гумусообразования по сравнению с условиями, типичными для других подтипов

черноземов. Гуминовые кислоты в выщелоченных и обыкновенных черноземах представлены преимущественно фракцией, связанной с кальцием, тогда как свободных гуминовых кислот извлекается немного. В составе фульвокислот всех подтипов черноземов доминируют фракции, связанные с кальцием (ФК2), а фракций ФК1 и ФК3, извлекаемых одновременно с соответствующими фракциями гуминовых кислот, присутствует очень немного. Содержание “агрессивных” фульвокислот (ФК1а) незначительно в обыкновенных черноземах, но заметно возрастает в выщелоченных и оподзоленных.

Таким образом, в изученных черноземах присутствуют все формы гумусовых соединений черноземного типа. Черноземы сибирского региона и, например, центральной черноземной области по составу гумуса схожи между собой. Различия проявляются в количественных оценках гумусного состояния. Черноземы Красноярского края отличаются укороченностью гумусового профиля, повышенным содержанием гумуса в пахотном слое, меньшими запасами гумуса в метровой толще, более узким значением отношения  $S_{ГК}/S_{ФК}$ .

Минерализуемый пул ОВ в агропочвах рассматривается как совокупность растительных остатков, микробной биомассы и подвижного гумуса. В научной литературе ([Ганжара, 1990](#); [Когут, 2003](#); [Семенов, Когут, 2015](#)) сложилась неоднозначная система понятий этой части ОВ, что свидетельствует о необходимости ее унификации. 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. Это незаменимый источник воспроизводства почвенного органического вещества, элементов минерального питания, субстрат для гетеротрофных микроорганизмов, источник органических соединений неспецифической и специфической природы.

Как показали исследования (табл. 2), 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 гетерогенную смесь растительных остатков, включающую как хорошо различимые визуально крупные фрагменты, слабо затронутые минерализацией, так 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 (Чупрова, 1997). Такой широкий диапазон изменения массы отмирающих корней свидетельствует о влиянии многих факторов на этот процесс, например, погодных условий сезона, биологических особен-

**Таблица 2.** Запасы растительных остатков в слое 0–20 см чернозема выщелоченного тяжелосуллинистого, т С/га

Севооборот	“Прежняя” мортмасса	Поступление растительных остатков				Всего
		летом до уборки с		осенью после уборки с		
		надземными органами	отмершими корнями	пожнивными остатками	отмершими корнями	
Зернопаропропашной						
Пар	0.80	0	0	0	0	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
Зернотравяной						
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

ностей 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 пшеницы и ячменя, размещаемой в поверхностных слоях почвы, отмирание также возрастает.

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 интенсивностью 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 изменялась в пределах 0.34–1.28 т С/га. За ротацию 6-польного зернопаропропашного севооборота поступление в почву пожнивных остатков равнялось 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.

**Таблица 3.** 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
% от мортмассы	95	290	143

Количественные оценки растительного компонента почвенного ОВ меняются и при внесении зеленых (сидератных) удобрений (табл. 3). 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 ([Чупрова, 1997](#); [2001](#)), 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.

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 три 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%.

Общий запас углерода в растительных остатках обеспечивает формирование минерализационного потока элемента в атмосферу и поддержание гумусного состояния почв за счет гумификационного потока. Разложение растительных остатков протекает с  $k = 0.37–0.44 \text{ год}^{-1}$ . Синтез нового гумуса при годовом разложении

растительных остатков в паровых полях составляет 7%, под пропашными и овощными культурами – 15%, под зерновыми, однолетними и многолетними травами 25–30%.

Микробная биомасса ( $C_{мб}$ ) имеет принципиальное значение для метаболизма почвы. Установлено, что в пахотном слое черноземов она меняется в пределах 1.5–3.0 т С/га. Согласованной зависимости между запасами  $C_{мб}$  и количеством поступающих в почву растительных остатков не отмечается, что свидетельствует о высокой устойчивости активной части микроббиомассы в пахотных почвах к поступлению или не поступлению новых порций растительного вещества на разложение ([Чупрова и др., 2005](#)).

Подвижный гумус представлен углеродом соединений, легко переходящих в растворимую форму (водо- и щелочерастворимые соединения). Водорастворимые органические вещества 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. Подвижный гумус, выполняя важные почвенно-экологические функции, постоянно обновляется и реагирует на любые воздействия, в том числе агрогенные.

Количественные оценки подвижного гумуса зависят от запасов ОВ в почвах (табл. 4) и 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 содержания подвижного гумуса колеблются в пределах 8–45%.

Содержание водорастворимых соединений в составе подвижного гумуса невелико, но достаточно динамично. В выборке данных оно, порой, изменяется в 2–4 раза. В ряду черноземов, распространенных в направлении от лесостепной зоны к степной природной зоне, наблюдается постепенное увеличение пула  $C_{H_2O}$ .

**Таблица 4.** Запас минерализуемого органического вещества в черноземах (агроценоз пшеницы), т С/га

Компонент ОВ	Чернозем		
	выщелоченный	обыкновенный	южный
$C_{\text{орг}}$	112.02	96.28	58.90
$C_{\text{минерализуемый}}$ :	27.73	20.43	18.52
$C_{\text{растительные остатки}}$	6.60	6.30	4.19
$C_{\text{подвижный гумус}}$ :	21.13	14.13	14.33
$C_{\text{H}_2\text{O}}$	0.69	0.54	0.79
$C_{0.1 \text{ н. NaOH}}$	20.44	13.59	13.54
$C_{\text{ГК/СФК}}$	1.27	0.96	0.93

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 чернозема южного 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 черноземе выщелоченном. 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 гидроксидов, амино- и амидогрупп, обогащены водородом и азотом, имеют упрощенное строение молекулы (Орлов, 1990). Соотношение запасов подвижных гуминовых и фульвокислот сужается в ряду черноземов: выщелоченный > обыкновенный > южный.

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

Выделение минерализуемого пула ОВ и распределение в нем разных компонентов позволяет точнее оценить потери ОВ (в том числе гумуса) из пахотных почв, определить возможные механизмы потерь и функции компонентов пула в этих процессах. В табл. 5 приводятся количественные оценки потерь ОВ из черноземов юга Средней Сибири, происходящие в агроценозах 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 (“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 черноземах Хакасии и в 3 раза в черноземах Тывы по сравнению с подобными почвами Красноярского края. Потери подвижных соединений гумуса в почвах Красноярского края (0.23 т С/га в год) составляют около 7% его затрат на формирование чистой первичной продукции (Chebakova, 2016) и на 91% компенсируются здесь новообразованным гумусом, в почвах Хакасии – на 34%, Тывы – только на 16%.

**Таблица 5.** Потери минерализуемого органического вещества в пахотных черноземах, кг С/га в год в слое 0–20 см

Процесс	Лесостепь, Красноярский край	Степь	
		Хакасия	Тыва
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 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  $\text{CO}_2$  в атмосферу, синтеза гумусовых веществ и вовлечения биогенных элементов в круговорот. Поэтому может использоваться в качестве критерия для оценки режимов и плодородия почв, а также мониторинга агрогенной трансформации экосистем.

## ВЫВОДЫ

1. Статистически установленные параметры показателей гумусного состояния (содержание, запасы, профильное распределение, степень гумификации, групповой и фракционный состав гумуса) являются четким критерием диагностики черноземов Средней Сибири (в пределах Красноярского края) на подтиповом классификационном уровне.

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

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

4. Продолжительное функционирование черноземов Красноярского края в составе пахотных угодий характеризуется достижением равновесного состояния органического вещества со свойственным ему уровнем устойчивости к биологическим потерям и установившейся скоростью круговорота углерода. Траты подвижных компонентов гумуса в процессах минерализации компенсируются поступлением в почву свежих растительных остатков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бугаков П.С., Чупрова В.В.* Содержание и качественный состав гумуса в основных почвах Красноярской лесостепи // Почвоведение. 1970. №12. С.46–55.
2. *Ведрова Э.Ф.* Деструкционные процессы в углеродном цикле лесных экосистем Енисейского меридиана. Дис. ... докт. биол. наук в виде научного доклада. Красноярск, 2005. 60 с.
3. *Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А.* Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв. М.: Агроконсалт, 1997. 82 с.
4. *Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Флоринский М.А.* Легкоразлагаемые органические вещества почв // Химизация сельского хозяйства. 1990. №1. С.53–55.
5. *Гришина Л.А.* Гумусообразование и гумусное состояние почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 243 с.
6. *Зонн С.В.* Роль И.В. Тюрина в развитии лесного почвоведения // Почвоведение. 1992. №10. С.25–32.
7. *Когут Б.М.* [Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах](#) // Почвоведение. 2003. №3. С. 308–316.
8. *Когут 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. научно-пр. конф. с междунар. участием к 85-летию Почвенного института им. В.В. Докучаева. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. С. 332–336.
9. *Кононова М.М.* Исследования академика И.В. Тюрина в области изучения органического вещества почвы // Почвоведение. 1962. №12. С. 1–7.
10. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 332 с.
11. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
12. *Тейт Р.* Органическое вещество почвы: биологические и экологические аспекты: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 400 с.
13. *Титлянова А.А., Тихомирова Н.А., Шатохина Н.Г.* Продукционный процесс в агроценозах. Новосибирск, 1982. 184 с.
14. *Тюрин И.В.* Вопросы генезиса и плодородия почв. М.: Наука, 1966. 287 с.
15. *Чупрова В.В.* Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири. Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 1997. 166 с.
16. *Чупрова В.В.* Поступление и разложение растительных остатков в агроценозах Средней Сибири // Почвоведение. 2001. №2. С.204–214.

17. Чупрова В.В., Белоусов А.А., Едимеичев Ю.Ф. Влияние агрогенных воздействий на трансформацию легкогидролизуемого органического вещества в черноземе Красноярской лесостепи // Сиб. вестник сельскохозяйственных наук. 2005. № 1. С. 3–8.
18. Шарков И.Н. Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Новосибирск, 1997. 37 с.
19. Chebakova N.M., Chuprova V.V., Parfenova E.I. Evaluating the Agroclimatic potential of Central Siberia // Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia. Springer International Publishing Switzerland, 2016. P. 287–307.

## THE ORGANIC MATTER POOL, COMPOSITION AND TRANSFORMATION IN SOILS OF MIDDLE SIBERIA

V. V. Chuprova

*Krasnoyarsk State Agrarian University,  
pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia*

The structure and agrogenic transformation of organic substance in chernozems of Middle Siberia are considered (within Krasnoyarsk Krai, Khakassia and Tuva). The comparative-geographic, comparative-analytical and stationary observation methods are used in this work. These investigations are based on ideas of academician I.V. Tyurin, who had a Krasnoyarsk period in his creative work. All of the forms of humic compounds of chernozem type are presented in the studied soils. The mineralized (transformed) pool of organic matter in chernozems (19–28 t C/ha) is characterized by set of the plant residues, microbial biomass and a mobile humus. The entrance of plant residues into the soil of a gramineae-fallow-hoed crop rotation makes 3.32 t C/ha per year, gramineae-grass – 3.89 C/ha per year. The contribution of living roots reaches 40–70% of year stocks of the plant residues. The entrance of additional portions of "fresh" plant material with straw and green manure increases the mineralized pool of the organic matter and its decomposition intensity. The amount of microbial biomass in an arable layer of chernozems fluctuates from 1.5 to 3.0 t C/ha. The decomposition of plant residues occurs at  $k = 0.37\text{--}0.44$ . The share of a mobile humus (water- and alkaline-soluble compounds) as a part of the mineralized chernozems OM reaches 69–77%. The seasonal variability of mobile humus concentration is determined by the unequal rate of plants death, the entrance into the soil and decomposition of plant residues, different intensity of their transformation in neofomed humic substances. Losses of humus mobile compounds in soils of Krasnoyarsk Krai (0.23 t C/ha per year) contain about 7% of

his expenses on the forming of net primary production and are compensated here by a neoformed humus at 91%, in soils of Khakassia – at 34%, Tuva – only at 16%.

*Keywords:* chernozem, soil organic matter, mineralized organic matter, mobile humus, pool, parameters of humus state, mortmass, decomposition, loss of mobile humus

## REFERENCES

1. Bugakov P.S., Chuprova V.V. Content and qualitative composition of humus in major soil of Krasnoyarsk forest-steppe zone, *Pochvovedenie*, 1970, No. 12, pp. 46–55. (in Russian)
2. Vedrova E.F. *Destruction processes in the carbon cycle of forest ecosystems of the Yenisei Meridian*. Doctor's thesis. Sciences in a scientific report. Krasnoyarsk, 2005, 60 p. (in Russian)
3. Gangara N.F., Borisov B.A. *Golosovanie and agronomic assessment of soil organic matter*, Moscow, Agrokonsalt Publ., 1997, 82 p. (in Russian)
4. Gangara N.F., Borisov B.A., Florinsky M.A. Legkonnastraivaemy of soil organic matter, *Chemicalization of agriculture*, 1990, No. 1, pp. 53–55. (in Russian)
5. Grishina L.A. *Golosovanie and humus status of soils*. Moscow, MGU Publ., 1986, 243 p. (in Russian)
6. Zonn S.V. the Role of I. V. Tyurin development of forest soil science, *Pochvovedenie*, 1992, No. 10, pp. 25–32. (in Russian)
7. Kogut B.M. Principles and methods of evaluation of the content of transformable organic matter in arable soils, *Pochvovedenie*, 2003, No. 3, pp. 308–316. (in Russian)
8. Kogut B.M., Semenov V.M. Transformable pool of organic matter of typical Chernozem and its experimental evaluation, *Soil science in Russia: challenges of modernity, the main directions of development: Mat-ly. scientific-practical Conf. with int. participation to the 85th anniversary of the Soil Institute. V.V. Dokuchaev*. Moscow, Soil. in-t im. V.V. Dokuchaev Publ., 2012, pp. 332–336. (in Russian)
9. Kononova M.M. Research of the academician I.V. Tyurin in the study organicheskogo matter in the soil, *Pochvovedenie*, 1962. No. 12, pp. 1–7. (in Russian)
10. Orlov D.S. *Gumusovyye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii*. Moscow, MGU Publ., 1990. 332 p. (in Russian)
11. Semenov V.M., Kogut B.M. *Pochvennoye organicheskoye veshchestvo*. Moscow, GEOS, Publ., 2015. 233 p. (in Russian)
12. Teyt R. *Organicheskoye veshchestvo pochvy: biologicheskiye i ekologicheskiye aspekty*. M.: Mir, 1991. 400 p. (in Russian)

13. Titlyanova A.A., Tikhomirova N.A., Shatokhina N.G. *Produksionnyy protsess v agrotsenozakh*. Novosibirsk, 1982. 184 p. (in Russian)
14. Tyurin I.V. *Voprosy genezisa i plodorodiya pochv*, Moscow, Nauka Publ., 1966. 287 p. (in Russian)
15. Chuprova V.V. *Uglerod i azot v agroekologicheskoy khimii Sredney Sibiri* / Krasnoyarsk: Krasnoyarsk. gos. Un-t Publ., 1997. 166 p. (in Russian)
16. Chuprova V.V. Flow and decomposition of plant residues in agroecosystems of Central Siberia, *Pochvovedenie*, 2001. No. 2, pp. 204–214. (in Russian)
17. Chuprova V.V., Belousov A.A., Eineichem Y.F. Influence agrogenic influences on the transformation of hydrolyzable organic matter in the soil of Krasnoyarsk forest-steppe, *Sib. Bulletin of agricultural Sciences*, 2005. No. 1, pp. 3–8. (in Russian)
18. Sharkov I.N. *Mineralization and balance of organic matter in soils of agricultural lands of Western Siberia*, Extended abstract of candidate's thesis. Novosibirsk, 1997. 37 p. (in Russian)
19. Chebakova N.M., Chuprova V.V., Parfenova E.I. Evaluating the Agroclimatic potential of Central Siberia, *Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia*. Springer International Publishing Switzerland, 2016, pp. 287–307.

### **Ссылки для цитирования**

Чупрова В.В. Запасы, состав и трансформация органического вещества в агропочвах Средней Сибири // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 90. С. 97-116. doi: 10.19047/0136-1694-2017-90-97-115

Chuprova V.V. The Organic Matter Pool, Composition and Transformation in Soils of Middle Siberia, *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2017, Vol. 90, pp. 97-116. doi: 10.19047/0136-1694-2017-90-97-115