

Е. В. Прокопович, П. В. Мещеряков

**ПРИРОДА И СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА  
ПОЧВ АГРОЭКОСИСТЕМ ЗОНЫ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО  
РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА**

О. В. Прокопович, П. В. Мещеряков

*Институт экологии растений и животных УрВ РАН*

**ПРИРОДА ТА ВЛАСТИВОСТІ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ҐРУНТІВ  
АГРОЕКОСИСТЕМ ЗОНИ СХІДНО-УРАЛЬСЬКОГО РАДІОАКТИВНОГО СЛІДУ**

Вивчено умови формування та закріплення новоутворених гумусових речовин в агроценозах зони Східно-Уральського радіоактивного сліду. Наведено особливості гумусового стану різних типів ґрунту, а також дані щодо вмісту і запасів різних форм органічного вуглецю та розмірів дегуміфікаційних процесів. Гумусовий стан розглянуто як умова накопичення та міграції радіонуклідів у ґрунті та об'єкт моніторингу ґрунтів у зоні Східно-Уральського радіоактивного сліду

*Ключові слова: ґрунт, гумусові речовини, зона Східно-Уральського радіоактивного сліду.*

E. V. Prokopovich, P. V. Mescher'yakov

*Ural department of plants and animals ecology of the Russian Academy of Sciences*

**PROPERTIES AND NATURE OF THE SOILS ORGANIC SUBSTANCE THAT EXISTS  
IN THE RADIOACTIVE TRACK ZONE OF THE EASTERN URAL**

The question of soils organic substance formation and fixation in the radioactive track zone of the eastern Ural agrocenosis was investigated. Particular features of humus of different kinds of soils were shown. Among them are data about quantity of the organic carbon in these soils and also degumificational processes extents. Humus structure was examined like a condition for the radioactive nuclides accumulation and migration in soils.

*Keywords: soils, humus substance, radioactive track zone of the eastern Ural.*

Изучение природы и свойств органического вещества почв в экосистемах, испытывающих различные антропогенные нагрузки, в том числе и радиационные, исключительно актуально в связи с оценкой экологической устойчивости и функциональной значимости почвенного покрова. Большинство его экологических функций определяется гумусным состоянием, поскольку гумус является источником энергии, элементов питания растений, своеобразным стабилизатором многих почвенных процессов.

Для Урала остро стоят проблемы реабилитации территорий, загрязненных в результате ядерной аварии на ПО «Маяк» в 1957 году, в результате которой в окружающую среду было выброшено около 2 млн *Ki* радиоактивных веществ, и в регионе сформировался Восточно-Уральский радиоактивный след общей протяженностью свыше 300 км и площадью свыше 23 тыс. км<sup>2</sup> (Итоги изучения ..., 1990). На современную радиационную обстановку в регионе определенное влияние оказали воздушно-ядерный взрыв на Тозком полигоне (сентябрь 1954 г.), а также взрывы, проведенные в народнохозяйственных целях в Оренбургской, Пермской областях и Башкортостане (Экологические последствия ..., 1968). Только в Свердловской области в пределах Восточно-Уральского радиоактивного следа оказалось порядка 190 тыс. га пахотных земель, 80,5 тыс. га луговых (сенокосных) и пастбищных угодий. Основному воздействию подверглись юго-восточные районы (Каменский, Богдановический, Камышловский), являющиеся житницей Среднего Урала.

Почвенный покров является одним из основных компонентов природной среды, где происходит сорбция радионуклидов в результате их аэриального поступления.

Сорбция почвой радионуклидов имеет двойное значение для их миграции в биосфере: с одной стороны, почва является источником поступления их в растения, а затем – в пищевые цепи животных и человека; с другой стороны, происходит их частичное закрепление и последующее перераспределение между компонентами почвенной массы и генетическими горизонтами почвы. Мониторинговыми исследованиями (Комплексная характеристика ..., 1994; Фирсова и др., 1995), проведенными в конце 1990-х годов на территории Свердловской области в границах зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа, установлено, что плотность загрязнения почвенного покрова стронцием остается на порядок, а цезием в 2–3 раза выше, чем за границами следа. Известны монографические обобщения данных об уровнях накопления цезия-137 и стронция-90 и поступления их в пищевые цепи (Куликов и др., 1990; Почвенно-экологические ..., 1996; Молчанова, Караваева, 2001) и выявлены особенности поведения радионуклидов в зависимости от физико-химических свойств почв и ряда экологических факторов (Тюрюканов, 1976; Орлов, Гришина, 1981).

Органическое вещество, наряду с гранулометрическим и минералогическим составом, определяет уровни накопления радионуклидов почвой: высокогумусные с большим содержанием глинистых минералов почвы обладают большей сорбционной емкостью и прочнее удерживают радионуклиды, чем легкие малогумусные. Гуминовые и фульвокислоты (ГК и ФК) адсорбируют радионуклиды, образуют с ними комплексы и внутрикомплексные соединения, тем самым снижая поступление радионуклидов в растения. А водорастворимые органические вещества способны переводить радионуклиды из состава твердой фазы в жидкую, увеличивая их миграционную способность в почве. По мере гумификации и минерализации органического вещества происходит высвобождение радионуклидов из состава твердой фазы почвы, сопровождающееся образованием мобильных металлоорганических комплексов, способных мигрировать по почвенному профилю (Молчанова, Караваева, 2001). Все вышесказанное определило значимость исследований почвенного органического вещества как одного из важнейших факторов закрепления и миграции радионуклидов.

Исследования почвенного покрова проведены в пределах Каменского района Свердловской области на двух трансектах, одна из которых длиной 22 км заложена поперек оси зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа, другая – протяженностью 23 км – вдоль оси следа, что позволило оценить почвенное разнообразие в границах ранее выделенных зон с разным уровнем радиационной нагрузки. В пределах каждой из названных трансект закладывались топоэкологические профили, которые объединяли почвы геохимически сопряженных ландшафтов. Их подробное описание, морфологическая характеристика почв, методика полевых исследований и отбора почвенных образцов приведены ранее (Почвенно-экологические ..., 1996). Особое внимание было уделено пахотным почвам и почвам сенокосных и пастбищных угодий, так как для хозяйств, расположенных в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа, до настоящего времени остается актуальным получение чистой сельскохозяйственной продукции (Комплексная характеристика ..., 1994).

В агроэкосистемах в местах закладки почвенных разрезов по принятой методике (Тарановская, 1957; Панкова, 1965) проведен учет надземной и подземной фитомассы, определено количество пожнивных остатков как потенциальных гумусообразователей. В почвенных образцах определили традиционный набор агрохимических показателей и гранулометрический состав в соответствии с прописями в «Агрохимических методах» (1975). Качественный состав гумуса выполнен по методу В. В. Пономаревой, Т. А. Плотниковой (1975), а оценка параметров гумусного состояния почв – по системе показателей Д. С. Орлова и Л. А. Гришиной (1981).

Закономерности распространения почв в регионе обусловлены особенностями рельефа, географией почвообразующих пород и водным режимом местности. Изучены следующие группы почв, различающиеся экологическими условиями гумусообразования и гумусонакопления:

1) почвы, сформировавшиеся на хорошо дренированных междуречьях с глубоким уровнем грунтовых вод на желто-бурых и бурых делювиальных опесчаненных карбонатных глинах и суглинках с периодически промывным или промывным типом

водного режима. Они представлены черноземами оподзоленными, выщелоченными (27,5 % от общей площади района) и серыми лесными (31,4 %), а на бескарбонатных отложениях – дерново-подзолистыми (0,5 %) почвами;

2) почвы на плоских водоразделах и участках с затрудненным внутрипочвенным стоком на аналогичных почвообразующих породах представлены лугово-черноземными, серыми лесными глеевыми, солодами луговыми и др. (в сумме около 11,5 % от общей площади);

3) почвы в отрицательных формах рельефа с близким уровнем залегания грунтовых вод занимают примерно 29 % от общей площади.

Почвы этих групп различаются параметрами физических и химических свойств, с которыми связаны абиотические условия протекания биогенно-аккумулятивных процессов. Отметим, что все они относятся к тяжелым по гранулометрическому составу, но при этом значительно отличаются друг от друга содержанием ила, определяющего способность этих почв к закреплению новообразованных гумусовых веществ. Элювиальная дифференциация профиля по илу в черноземах практически не выражена. В пахотном горизонте содержание частиц менее 0,001 мм обычно варьирует в интервале 38–44 %, в подпахотной части гумусового слоя составляет 40–43 %, ниже – в иллювиальном горизонте *B* – незначительно возрастает до 45–46 %, и далее к почвообразующей породе плавно убывает до 40–42 %. В пахотных серых лесных почвах наиболее тяжелой по гранулометрическому составу традиционно оказалась иллювиальная часть профиля, а нижележащие горизонты имеют облегченный гранулометрический состав. В этих почвах создается наиболее реальная возможность для внутрипрофильного перемещения водорастворимых органических кислот и связанных с ними радионуклидов. Известно, что предпочтительнее  $^{90}\text{Sr}$  связывается фульвокислотами, причем в форме сложных комплексов, в состав которых входят кальций, железо и алюминий (Павлоцкая, 1974). В литературе приводятся данные о следующем распределении его между гуминовыми, фульвокислотами и гуматами для чернозема выщелоченного и дерново-подзолистой почвы: 3, 62 и 35 %; 3, 69 и 28 % соответственно (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1992).

В дерново-луговых почвах отмечено наиболее резкое увеличение содержания ила до 45–53 % в верхней части горизонта *AB* при довольно высоком его содержании в выше- (38–43 %) и нижележащих (13–26 %) горизонтах. Известно, что основной фракцией, ответственной за сорбцию цезия-137 в почве, является ил: в этой фракции у дерново-подзолистых почв остается до 50 %, а у высокогумусных черноземных – 70 % от поглощенного  $^{137}\text{Cs}$ , который не вытесняется в раствор после многочисленных обработок  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1992). Исходя из этих данных, можно считать, что гранулометрический состав рассматриваемых почв должен благоприятствовать адсорбции и накоплению как гумусовых веществ, так и химических элементов, в том числе радионуклидов.

Изученные серые лесные пахотные почвы выделяются равномерным распределением и невысоким содержанием подвижного железа по всему профилю, наиболее низкими значениями *pH* и самой резкой дифференциацией профиля по содержанию поглощенных кальция и магния. В лугово-черноземных почвах окисного железа по всему профилю значительно больше, чем в автоморфных серых лесных и черноземах, максимальное его количество наблюдается в верхней части почвенного профиля, как следствие избыточного увлажнения и застаивания влаги. Они имеют дифференцированный профиль по величине *pH*: для аккумулятивной части профиля характерна слабокислая, для средней части – близкая к нейтральной и нейтральная, а для нижней – слабощелочная реакция среды. Для этих почв характерно большое содержание поглощенных оснований и высокая степень насыщенности ими. Емкость катионного обмена высокая по всему профилю, максимальные значения приходятся на его аккумулятивную часть.

Дерново-луговые солонцеватые почвы имеют реакцию среды, изменяющуюся с глубиной от нейтральной к щелочной, очень высокую степень насыщенности основаниями (до 97 %) и сумму поглощенных оснований, которая с глубиной возрастает в 2–3 раза. Помимо поглощенного кальция представлен и кальций карбонатов. Среди

поглощенных оснований доминирует кальций за исключением горизонта *AB*, где преобладает магниевое засоление. Емкость катионного обмена будет очень высокая по всему профилю.

Очевидно, что все изученные почвы зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа имеют благоприятные условия для новообразования и закрепления гумусовых веществ, обусловленные почвенными абиотическими факторами, а величина периода биологической активности порядка 135–138 дней обеспечивает формирование гумусовых веществ, преимущественно фульватно-гуматного и гуматного типа. Территория относится к теплому и незначительно засушливому подрайону с суммой температур более 10 °С равной 1800 ° и гидротермическим коэффициентом 1,2–1,4 (Агроклиматический справочник ..., 1962).

В почвах агроэкосистем основным поставщиком потенциальных гумусообразователей выступает культурная растительность. Для изучаемых почв проведена оценка запасов и особенностей распределения по генетическим горизонтам живых подземных органов растений, растительных остатков разных стадий трансформации и наземных пожнивных остатков (табл. 1). В пахотных автоморфных почвах в верхней части обрабатываемого слоя слаборазложившиеся растительные остатки доминируют над сильноразложившимися, а в нижней части – наоборот. В луговых почвах отношение слаборазложившихся к сильноразложившимся растительным остаткам достигает максимальных значений на глубине 20–30 см. Суммарный запас растительной массы (живые корни и растительные остатки) в полуметровой толще в пахотных почвах относительно невелик и возрастает в ряду почв от менее плодородных к более плодородным (табл. 2). Аналогично изменяется и количество слаборазложившихся остатков. В почвах пастбищных и сенокосных угодий запасы живых корней в слое 0–50 см составили 13,5–15,3 т/га, а суммарный запас живой и мертвой фитомассы 18,6–21,4 т/га, в составе мортмассы сильноразложившиеся остатки преобладают над слаборазложившимися. В луговых почвах насыщенность почвы живыми корнями с глубиной уменьшается более плавно, чем в пахотных, но глубина проникновения их в почву определяется уровнем грунтовых вод, появление которых отмечалось с глубины 1 м.

Количество поступающих поверхностных остатков в луговых почвах – 1,3–1,6 т/га, а в пахотных почвах после однолетних злаков их количество – 0,8–1,3 т/га. С суммарным количеством ежегодно поступающих пожнивно-корневых остатков будут связаны размеры ежегодного восполнения запасов гумусовых веществ. И при коэффициенте гумификации пожнивно-корневых остатков зерновых культур 0,18 и многолетних трав – 0,23 (Гумус и почвообразование ..., 1993) новообразование гумуса составляет в пахотных почвах 0,56–0,68 т/га, под многолетними травами – 3,0–3,34 т/га. Сезонная динамика гумусовых веществ в почвах изучаемых экосистем отражает особенности поступления потенциальных гумусообразователей.

Для характеристики гумусового потенциала важны данные по запасам общего углерода, запасов углерода предгумусовой фракции и углерода водорастворимого. Сравнительное изучение почв разных генетических типов показало, что максимальный запас  $C_{\text{общ}}$  соответствует черноземным почвам, в пахотном слое 0–20 см которых он составляет от 75 до 143 т/га, а в полуметровой толще – от 146 до 345 т/га, то есть он изменяется более чем в 2 раза. Меньшими запасами  $C_{\text{общ}}$  характеризуются пахотные серые лесные почвы, для вышеуказанных слоев они составили 49 и 83 т/га соответственно. Более высокие его запасы обнаруживаются в почвах, которые используются как сенокосы и пастбища (табл. 3).

Запасы углерода предгумусовой фракции максимальны для почв, формирующихся в условиях повышенного увлажнения, то есть луговых, на которых размещены основные площади пастбищных и сенокосных угодий. Намного меньшими его запасами обладают пахотные почвы, в том числе и черноземы, где содержание этой фракции составляет 8,19 т/га. В пахотных почвах ее количество зависит от периодичности и доз вносимых органических удобрений, типа севооборота и чередования культур в нем. Нередко в почвах агроценозов ощущается дефицит в потенциальных гумусообразователях, что отражается на примере рассматриваемого показателя. Запасы

**Особенности распределения в почвенном профиле запасов подземных органов растений  
и растительных остатков разной степени разложения**

Горизонт	Глубина, см	Растительные остатки				Живые корни		Отношение слабо-/сильно-разложившиеся остатки	
		Слаборазложившиеся		Сильноразложившиеся		г/м <sup>3</sup>	%		
		г/м <sup>3</sup>	%	г/м <sup>3</sup>	%				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>Светло-серая лесная почва, пашня, пшеница (разрез № 6)</b>									
A <sub>длх</sub>	0-7	11,62	34,7	10,51	19,3	80,00	38,5	1,1	
A <sub>длх</sub>	7-14	8,47	25,3	11,17	20,5	58,24	28,0	0,7	
A <sub>длх</sub>	14-25	13,40	40,0	29,33	53,8	47,89	23,0	0,4	
A <sub>длх</sub>	25-30	Не опр.	Не опр.	2,56	4,7	7,23	3,5	Не опр.	
B <sub>1</sub>	30-40	Не опр.	Не опр.	0,93	1,7	12,06	5,8	Не опр.	
B <sub>1</sub>	40-50	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	2,50	1,2	Не опр.	
<b>Серая лесная почва, пашня, пшеница (разрез № 10)</b>									
A <sub>длх</sub>	0-10	19,10	45,1	27,96	40,0	84,92	35,7	0,7	
A <sub>длх</sub>	10-20	22,59	53,6	40,56	58,2	79,22	33,3	0,5	
A <sub>1</sub>	20-31	0,55	1,3	1,25	1,8	35,17	27,4	0,4	
B <sub>1</sub>	31-45	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	8,34	Не опр.	Не опр.	
B <sub>1</sub>	45-55	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	
<b>Чернозем выщелоченный, пашня, овес (разрез № 22)</b>									
A <sub>длх</sub>	0-12	24,17	48,7	24,05	50,0	135,38	49,7	1,0	
A <sub>длх</sub>	12-25	23,10	46,6	22,90	48,3	69,90	25,6	1,0	
A <sub>1</sub>	25-33	1,45	2,9	0,30	0,6	54,72	20,1	4,8	
B <sub>1</sub>	33-50	0,90	1,8	0,25	0,5	12,65	4,6	3,6	
<b>Чернозем выщелоченный, пашня, озимая рожь (разрез № 24)</b>									
A <sub>длх</sub>	0-12	33,50	60,8	28,4	51,7	174,50	61,1	1,2	
A <sub>длх</sub>	12-25	20,95	37,9	25,50	45,9	85,35	29,8	0,8	

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
A <sub>1</sub>	25-37	0,75	1,3	1,33	2,4	23,00	8,0	0,5
B	37-50	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	3,10	1,1	Не опр.
Лугово-черноземная, луг, многолетние травы (разрез № 1)								
A <sub>1</sub>	0-10	140,00	53,4	203,50	58,21	525,00	34,4	0,6
A <sub>1</sub>	10-20	93,50	35,6	105,50	30,1	456,2	29,9	0,8
A <sub>1</sub>	20-30	24,20	9,2	22,15	6,3	270,00	17,7	1,1
A <sub>1</sub>	30-40	3,00	1,1	15,30	4,4	241,10	15,8	0,2
AB	40-50	1,90	0,7	3,50	1,0	34,13	2,2	0,5
Серая лесная глеевая, луг, многолетние травы (разрез № 4)								
A <sub>1</sub>	0-10	84,50	39,7	124,30	41,9	649,50	48,0	0,6
A <sub>1</sub>	10-20	90,65	42,5	133,50	44,9	295,35	21,8	0,6
A <sub>1</sub>	20-30	32,10	15,0	30,45	10,2	292,80	21,6	1,1
B	30-40	4,55	2,1	6,70	2,2	104,50	7,6	0,6
B	40-50	1,60	0,7	2,50	0,8	13,10	0,9	0,6

Таблица 2

Запасы живых корней и растительных остатков в почвах агроэкосистем зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа в слое 0-50 см, т/га

№ разреза	Угодье	Культура	Почва	Корни	Разложившиеся остатки		Запас живой и мертвой фитомассы
					слабо-	сильно-	
6	Пашня	Пшеница	Светло-серая лесная	2,08	0,33	0,54	2,95
10	Пашня	Пшеница	Серая лесная	2,37	0,42	0,89	3,48
22	Пашня	Овес	Чернозем (выщелоченный)	2,72	0,49	0,47	3,68
24	Пашня	Озимая рожь	Чернозем (выщелоченный)	2,85	0,55	0,55	3,95
1	Луг	Многолетние травы	Лугово-черноземная	15,26	2,62	3,49	21,37
4	Луг	Многолетние травы	Серая лесная глеевая	13,55	2,13	2,97	18,65

водорастворимых форм органического углерода в сопоставлении с его общими запасами дают представление о степени мобильности и миграционной способности новообразованных гумусовых веществ. Отметим в целом невысокие запасы этой формы углерода в почвах зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа (табл. 3). В пределах  $A_{\text{пах}}$  отмечены несколько большие запасы водорастворимого углерода, чем в аналогичной части почвенного профиля целинной почвы. Этот факт можно рассматривать как свидетельство недостаточной окультуренности пахотных почв в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа, поскольку ряд исследователей отмечают, что органическое вещество пахотных почв по мере увеличения степени их окультуренности превращается в более труднорастворимые формы, прочно закрепляясь минеральной частью почвы, в основном тонкодисперсной (Гумус и почвообразование ..., 1993).

Таблица 3

**Запасы общего углерода, его водорастворимых форм и углерода предгумусовой фракции в почвах зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа в слоях 0–20 и 0–50 см, т/га**

Почва	Угодье	Углерод					
		общий		предгумусовой фракции		водорастворимый	
		0–20 см	0–50 см	0–20 см	0–50 см	0–20 см	0–50 см
Разрез № 2							
Лугово-черноземная	Сенокос	72,19	127,30	10,87	17,79	0,66	1,55
Разрез № 4							
Серая лесная глеевая	Луг (выгон орошаемый)	78,69	142,83	10,61	19,87	0,94	2,15
Разрез № 6							
Серая лесная	Пашня	49,18	83,83	2,75	3,12	0,87	1,87
Разрез № 10							
Серая лесная	Пашня	56,87	113,41	5,72	8,21	0,81	1,84
Разрез № 9							
Чернозем выщелоченный	Пашня	75,15	182,15	7,68	11,24	0,74	Не опр.
Разрез № 13							
Чернозем выщелоченный	Пашня	98,18	146,08	4,34	8,05	1,13	2,05
Разрез № 20							
Чернозем выщелоченный	Пашня	103,46	Не опр.	3,22	Не опр.	1,09	Не опр.
Разрез № 22							
Чернозем выщелоченный	Пашня	110,92	203,88	2,46	4,63	0,86	2,14
Разрез № 24							
Чернозем выщелоченный	Пашня	143,98	345,66	8,19	24,32	0,60	1,60

Исходя из особой роли гумусовых веществ в закреплении и миграции радионуклидов была предпринята попытка изучения качественного состава гумуса (табл. 4) и оценки гумусного состояния почв этого региона. Установлено, что в одних – наблюдается резкое доминирование ГК над ФК (более чем в 6 раз, разрез 24 – чернозем выщелоченный). В других и те, и другие кислоты представлены почти поровну. Изменяется тип гумуса и по почвенному профилю: он либо гуматный по всему профилю (разрез 24), либо с глубиной гуматный тип гумуса сменяется гуматно-фульватным (разрез 22) и даже фульватно-гуматный сменяется фульватным (разрезы 4 и 11). Таким образом, в почвах имеются ФК, обеспечивающие транспортирование радионуклидов, и

Таблица 4

Качественный состав гумуса почв агроценозов, % к С<sub>общ</sub>

Горизонт	Глубина, см	С <sub>общ</sub>			Гуминовые кислоты, фракция			Фульвокислоты, фракция			Сумма фракций	С <sub>ГК/С<sub>Фк</sub></sub>	Негидролизуемый остаток	
		1	2	3	1	2	3	1а	1	2				3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Разрез № 4: дуг, серая лесная глеевая почва														
A <sub>1</sub>	0-10	2,43	8,9	21,7	11,9	42,5	2,9	8,5	12,6	1,1	25,1	67,7	1,7	32,5
A <sub>1</sub>	10-20	2,41	7,3	26,6	9,2	43,1	3,0	10,0	2,4	2,7	18,1	61,2	2,4	38,8
A <sub>1</sub>	20-30	2,52	6,7	23,7	7,1	37,5	3,3	8,0	4,5	2,1	17,9	55,4	2,1	44,6
B	33-40	0,53	5,0	20,4	8,7	34,1	12,9	2,7	8,9	1,6	26,1	60,2	1,3	39,2
B	40-47	0,42	3,1	15,1	6,2	24,4	6,8	2,9	2,3	0,2	12,2	36,6	2,0	63,4
B <sub>Ca</sub>	47-55	0,66	4,1	10,0	11,0	25,1	9,0	1,7	7,3	0,9	18,9	44,0	1,3	56,0
Разрез № 6: светло-серая лесная почва														
A <sub>пах</sub>	0-7	1,54	7,4	43,7	8,8	59,9	5,2	3,9	1,4	4,9	15,4	75,3	3,9	24,7
A <sub>пах</sub>	7-14	1,54	4,9	36,5	11,2	52,6	4,9	3,1	6,8	4,9	19,7	72,3	2,7	27,7
A <sub>пах</sub>	14-25	1,52	5,1	36,8	10,2	52,1	3,3	3,9	12,6	3,0	22,8	74,9	2,3	25,1
A <sub>пах</sub>	25-30	1,15	5,2	47,6	10,9	63,7	4,6	3,7	9,8	0	18,1	81,8	3,5	18,2
B <sub>1</sub>	30-40	0,35	3,0	11,8	12,5	27,3	7,4	2,4	10,0	0	19,9	47,2	1,4	52,8
B <sub>1</sub>	40-50	0,23	3,2	11,3	11,4	25,9	9,5	0,4	15,4	0	25,3	51,2	1,0	48,8
Разрез № 9: чернозем выщелоченный														
A <sub>пах</sub>	0-8	2,99	6,4	27,1	16,3	49,8	3,5	5,0	7,7	1,3	17,4	67,2	2,9	32,8
A <sub>пах</sub>	16-23	2,91	6,5	25,4	14,5	46,4	3,8	3,7	7,7	0,5	15,7	62,1	3,0	37,9
A <sub>1</sub>	30-34	2,44	5,2	31,4	15,3	51,9	4,2	3,9	11,4	3,0	22,5	74,4	2,3	25,6
B <sub>1</sub>	34-44	0,70	2,9	9,4	12,4	24,9	8,3	2,7	14,3	1,6	26,9	51,8	0,9	48,2
Разрез № 10: серая лесная почва														
A <sub>пах</sub>	0-10	2,36	5,3	28,3	16,2	49,8	2,5	3,9	4,1	0,6	11,1	60,9	4,5	39,1
A <sub>пах</sub>	20-31	2,30	6,2	30,2	14,1	50,5	2,3	2,0	5,3	0,3	9,9	60,4	5,1	39,6
B <sub>1</sub>	31-45	0,55	3,6	10,9	9,5	24,0	5,6	3,8	9,6	1,6	20,6	44,6	1,2	55,4



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Разрез № 11: серая лесная глеевая почва														
A <sub>0</sub>	0-3	36-74	8,1	4,1	9,4	21,6	3,0	9,3	0,8	4,4	17,5	39,1	1,2	60,9
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	3-12	29,67	11,6	1,7	11,5	24,8	2,2	14,0	3,4	7,1	26,7	51,5	0,9	48,5
A <sub>1</sub>	12-22	4,48	22,5	7,5	8,3	38,3	5,7	15,2	5,7	3,2	29,8	68,1	1,3	31,9
A <sub>2</sub> B	22-30	1,17	16,8	16,3	9,2	42,3	8,0	0,9	16,5	4,0	29,4	71,7	1,4	28,3
B <sub>g</sub>	30-40	0,61	3,1	2,0	5,4	14,5	29,4	1,7	17,7	3,8	52,6	67,1	0,2	32,9
B <sub>g</sub>	40-55	0,67	3,8	1,4	4,8	10,2	26,9	3,5	12,9	5,8	49,1	59,3	0,2	40,7
Разрез № 20: чернозем выщелоченный														
A <sub>чпкx</sub>	0-20	4,77	9,1	28,1	13,8	51,0	2,8	2,1	7,1	0	12,0	63,0	4,3	37,0
A <sub>чпкx</sub>	20-26	4,27	7,4	33,1	16,2	56,7	3,8	6,4	3,5	0	12,7	69,4	4,5	30,6
B	26-35	0,96	2,5	13,2	10,8	26,5	8,3	2,3	17,9	0	28,5	55,0	0,9	45,0
Разрез № 13: чернозем выщелоченный														
A <sub>чпкx</sub>	0-8	5,23	12,5	18,1	16,9	47,5	3,3	3,0	10,8	4,8	21,9	69,4	2,2	30,6
A <sub>чпкx</sub>	16-25	4,96	7,1	22,7	20,0	49,8	2,2	5,4	5,6	3,5	16,7	66,5	3,0	33,5
A <sub>1</sub>	25-35	0,85	2,5	17,4	22,7	42,6	8,7	0,9	9,4	1,0	20,0	62,6	2,1	37,4
AB	35-45	0,71	1,8	10,3	10,7	22,8	1,4	1,6	2,5	0	5,5	28,3	4,2	71,7
Разрез № 22: чернозем выщелоченный														
A <sub>чпкx</sub>	0-12	3,98	10,1	23,9	13,1	47,1	2,2	5,3	9,1	0,9	17,5	64,5	2,7	35,4
A <sub>чпкx</sub>	12-25	3,75	12,8	33,8	9,3	55,9	2,5	4,8	8,8	2,3	18,4	74,3	3,0	25,7
A <sub>1</sub>	25-33	3,74	10,0	32,8	15,3	58,1	3,0	5,6	7,1	1,5	17,3	75,4	3,4	24,6
B <sub>1</sub>	35-50	0,84	3,1	11,8	6,7	21,6	15,5	1,4	10,4	5,5	32,8	54,4	0,7	45,6
Разрез № 24: чернозем выщелоченный														
A <sub>чпкx</sub>	0-12	6,41	5,5	33,3	13,6	52,4	2,4	2,0	3,5	1,0	8,9	61,3	5,9	38,7
A <sub>чпкx</sub>	12-25	6,21	8,8	38,3	15,8	62,9	2,3	2,2	5,0	1,6	11,1	74,0	5,7	26,0
A <sub>1</sub>	25-37	6,20	10,7	37,9	13,5	62,1	2,2	1,7	7,6	0	12,5	74,6	5,0	28,7
A <sub>1</sub>	37-50	5,58	10,6	34,9	16,2	61,7	1,6	3,0	5,0	0	9,6	71,3	6,4	28,7
AB	50-55	1,39	2,2	29,0	13,4	44,6	3,1	1,2	4,5	0	8,8	53,4	5,1	46,6

в наибольшем количестве они представлены в полугидроморфных почвах отрицательных форм рельефа. Велика их роль и в серых лесных почвах, где новообразованию ФК способствует дополнительное увлажнение либо за счет поверхностного стока в понижения рельефа, либо за счет искусственного, обеспечиваемого орошением.

Особенностью качественного состава органического вещества черноземов щелоченных является резкое расширение отношения  $C_{ГК}/C_{ФК}$  до 6,2–6,4, начиная с глубины 25–35 см. Обычно это отношение в черноземах разных подтипов и разных частей ареала черноземных почв не превышает 4,0–4,5. В изученных почвах такое увеличение обусловлено проведенными реабилитационными работами – внесением больших доз извести для закрепления радионуклидов в почве. Эта мелиоративная особенность отразилась и на фракционном составе гумуса – среди ГК в почвах повсеместно преобладает фракция 2, прочно связанная с кальцием. На ее долю приходится от 50 до 70 %. Следующей по преобладанию фракцией ГК выступает связанная с глинистыми минералами фракция 3, что хорошо согласуется с особенностями гранулометрического состава этих почв. ГК всех фракций отличаются высокой и очень высокой оптической плотностью в гумусовых горизонтах и низкой и очень низкой – в элювиальном и нижележащих горизонтах.

В составе ФК отмечено небольшое содержание агрессивной фракции 1а, а ее количество, вследствие высокой подвижности, закономерно возрастает с глубиной. В изученных почвах довольно широко представлены фульваты кальция. В распределении их по профилю отчетливо проявляется экранирующее (барьерное) влияние уплотненного иллювиального горизонта. ФК, связанные с оксидами алюминия и железа, представлены незначительным количеством, но их в большинстве случаев больше, чем прочносвязанных, и с глубиной их содержание традиционно убывает.

По величине негидролизуемого остатка изученные почвы практически не различаются. Меньше всего гуминов обнаружено в пахотном горизонте, с глубиной содержание негидролизуемого остатка возрастает и оно существенно выше, чем в  $A_{пах}$ .

Значения оптических плотностей ГК обычно используют для сравнения гумусовых соединений разных генетических типов почв и для характеристики особенностей строения ГК. Их оптические плотности зависят от соотношения углерода, входящего в состав ядра молекул, и углерода периферических цепочек. Продолжительность периода биологической активности позволяет ожидать формирование ГК, богатых бензольными структурами, «зрелых», по выражению Д. С. Орлова, с высокой оптической плотностью. Наибольшие значения оптических плотностей оказались традиционно характерными для черноземных почв (табл. 5). Для серых лесных и дерново-луговых оптическая плотность ГК существенно ниже, что связано с меньшей интенсивностью биохимических процессов в них, ограничиваемых более кислой реакцией среды и другими факторами. Отметим высокие значения оптических плотностей ГК для всей гумусово-аккумулятивной части профиля старопашотных черноземных почв (разрез 24), особенностью которых было регулярное известкование в высоких дозах в послеаварийный период. Зная, что радиоцезий включается в пленки органических кислот на поверхности минеральных частиц, в малорастворимые органоминеральные соединения, особенно гуминовые кислоты и гуматы (Павлоцкая, 1974; Сельскохозяйственная радиоэкология, 1992), полученные данные можно использовать для интерпретации материалов по содержанию и запасам радионуклидов в изучаемых почвах.

Таблица 5

Содержание фракций гуминовых кислот и величина оптической плотности фракций ГК ( $E_{430\text{ нм}}$ )

Горизонт	Глубина, см	% фракций ГК к общей их сумме			Оптическая плотность фракций ГК		
		1	2	3	1	1+2	3
1	2	3	4	5	6	7	8
Разрез № 4							
$A_1$	0–10	20,9	51,1	28,0	10,1	21,0	8,0

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8
A <sub>1</sub>	10–20	16,9	61,7	21,4	10,5	20,1	10,0
A <sub>1</sub>	20–30	17,9	63,2	18,9	13,7	22,3	9,1
B	33–40	14,6	59,9	25,5	2,3	11,6	7,1
B	40–47	12,7	61,9	25,4	2,4	8,8	2,9
B <sub>Ca</sub>	47–55	16,3	40,0	43,7	1,5	6,7	3,8
Разрез № 6							
A <sub>пах</sub>	0–7	15,1	65,6	19,3	8,2	17,6	12,7
A <sub>пах</sub>	7–14	9,3	69,4	21,3	9,7	19,6	6,4
A <sub>пах</sub>	14–25	9,8	70,6	19,6	9,5	17,9	8,1
A <sub>пах</sub>	25–30	8,2	74,7	17,1	8,5	19,3	6,8
B <sub>1</sub>	30–40	11,0	43,2	45,8	1,0	8,0	1,9
B <sub>1</sub>	40–50	12,4	43,6	44,0	0,9	10,3	2,3
Разрез № 9							
A <sub>пах</sub>	0–8	12,9	54,4	32,7	12,7	27,0	20,6
A <sub>пах</sub>	16–23	14,0	54,7	31,3	9,9	27,1	19,4
A <sub>1</sub>	30–34	10,0	60,5	29,5	8,5	26,6	19,6
B <sub>1</sub>	34–44	11,6	38,6	49,8	1,6	12,1	5,6
Разрез № 11							
A <sub>0</sub>	0–3	37,5	19,0	43,5	5,0	5,1	6,0
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	3–12	46,8	6,9	46,3	6,6	8,5	7,7
A <sub>1</sub>	12–22	58,7	19,6	21,7	15,0	20,9	6,7
A <sub>2g</sub>	22–30	39,7	38,5	21,8	9,0	15,0	6,1
B <sub>g</sub>	30–40	49,0	13,8	37,2	3,2	10,7	5,9
B <sub>g</sub>	40–55	37,3	13,7	47,0	3,2	8,2	4,9
Разрез № 10							
A <sub>пах</sub>	0–10	10,6	56,8	32,6	9,7	26,4	18,7
A <sub>пах</sub>	20–31	12,3	59,8	27,9	7,6	26,5	16,9
B <sub>1</sub>	31–45	15,0	45,4	39,6	2,5	16,0	8,6
Разрез № 13							
A <sub>пах</sub>	0–8	26,3	38,1	35,6	9,4	21,7	16,5
A <sub>пах</sub>	16–25	14,3	45,6	40,1	11,2	22,6	15,1
A <sub>1</sub>	25–35	3,9	58,2	37,9	1,9	16,8	9,9
AB	35–45	8,0	45,0	47,0	1,6	23,3	16,9
Разрез № 20							
A <sub>пах</sub>	0–20	17,8	55,1	27,1	11,6	12,7	21,7
A <sub>пах</sub>	20–26	13,0	58,4	28,6	11,2	27,3	18,3
B	26–35	9,4	49,8	40,8	2,1	18,4	9,6
Разрез № 22							
A <sub>пах</sub>	0–12	21,5	50,7	27,8	16,6	27,9	18,8
A <sub>пах</sub>	12–25	22,9	60,5	16,6	17,1	27,3	12,7
A <sub>1</sub>	25–33	17,3	56,5	26,2	17,4	30,1	17,9
B <sub>1</sub>	35–50	14,4	54,6	31,0	3,2	10,0	7,5
Разрез № 24							
A <sub>пах</sub>	0–12	10,5	63,6	25,9	12,7	28,4	19,4
A <sub>пах</sub>	12–25	14,0	60,9	25,1	14,1	25,4	18,6
A <sub>1</sub>	25–37	17,2	61,0	21,8	9,9	25,6	20,4
A <sub>1</sub>	37–50	17,2	56,6	26,2	8,7	24,3	18,4
AB	50–55	4,9	65,0	30,1	4,0	28,0	20,8

Для широко представленных в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа пахотных серых лесных почв характерно варьирование запасов гумуса в пахотном горизонте от среднего до низкого. Они выделяются высокой степенью обогащенности гумуса азотом, очень высокой степенью гумификации органического вещества и преимущественно гуматным типом гумуса. Среди пахотных черноземных почв представлены почвы как с очень высоким, так и высоким содержанием гумуса. Запасы гумуса варьируют в слое 0–20 см от 116 до 234 т/га. Обогащенность гумуса азотом в этих почвах несколько ниже, чем в серых лесных пахотных, а степень гумификации органического вещества – очень высокая. Тип гумусовых веществ гуматный. Различия в гумусированности пахотных почв даже одной разновидности обусловлены уровнем агротехники, применяемой на конкретном полевоом массиве, и связанной с ним дегумификацией.

С целью определения количественных параметров дегумификационных процессов, отражающихся на содержании, запасах, качестве гумуса и поведении радионуклидов в почвах, были сопоставлены данные по содержанию гумуса из паспортных ведомостей двух туров (1957–1992 гг.) агрохимического обследования сельхозугодий в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа. Почвы были объединены в три группы, различающиеся степенью гумусированности: в первую попали пахотные почвы с содержанием гумуса менее 4 %, во вторую – с содержанием гумуса от 4 до 6 %, в третью – 6–8 % и выше. Для каждой из выделенных групп был рассчитан баланс гумуса, приходная часть которого складывалась из новообразованных гумусовых веществ, образующихся в процессе гумификации пожнивно-корневых остатков и вносимых органических удобрений, а расходная статья – размерами ежегодной минерализации гумуса и его потерями с эрозионными процессами. Исходные данные (урожайность сельскохозяйственных культур, севообороты и их структура, процент эрозионно опасных земель в районе и др.) для расчетов соответствующих приходных и расходных статей были взяты из фондовых материалов УралГИПРОзема, районных и областного управлений сельского хозяйства. Оказалось, что среди полевых севооборотов в рассматриваемый период преобладали зерновой (с насыщением зерновыми 80–100 %), зернотравяной (с зерновыми от 40 до 70 %), зернопаропропашной и зернопропашной. Среди кормовых сенокосно-пастбищных – травопольный и травянопропашной.

Для расчета баланса гумусовых веществ в почвах агроэкосистем зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа использована методика, предложенная К. В. Дьяконовой (Рекомендации ..., 1984). Расчет массы пожнивно-корневых остатков был проведен по урожаю основной продукции с использованием соответствующих регрессионных уравнений, использовались обобщенные нами данные по урожайности в Каменском районе зерновых и кормовых культур в период 1957–1992 гг. При вычислениях учитывалось содержание сухого органического вещества в различных органических удобрениях, использовались для пересчета коэффициенты, взятые из таблиц «Справочника агронома Нечерноземной зоны» (1990). Данные по содержанию гумуса и его динамике были подвергнуты математической обработке.

В итоге установлено, что почвы первой группы с содержанием гумуса  $2,83 \pm 0,12$  % в период 1957–1992 гг. под культурами всех четырех видов севооборотов имели отрицательный годовой баланс гумуса, что было обусловлено недостаточным ежегодным поступлением в пахотные почвы потенциальных гумусообразователей (низкие дозы и нерегулярное внесение органических удобрений). Наибольший дефицит установлен для почв под зернопаропропашным севооборотом (–0,64 т/га или 0,026 % ежегодно), а наименьший – под культурами зернотравяного севооборота. Отметим, что средняя многолетняя доза вносимых органических удобрений (2,0–2,5 т/га в год) не компенсировала размеров ежегодной минерализации гумуса.

В почвах второй группы со средним содержанием гумуса  $5,19 \pm 0,33$  % отрицательный годовой баланс гумуса складывался только под культурами зернопропашного севооборота (–0,20 т/га, или 0,009 % в год). В этих почвах под культурами всех других севооборотов складывался положительный баланс. Подчеркнем, что отрицательный баланс во второй группе почв был в 2 раза меньше, чем в первой группе

почв. Это связано с тем, что для высокогумусовых почв коэффициенты гумификации вносимых в них органических удобрений являются более высокими, и в эти почвы за счет более высокой продуктивности растений достоверно больше поступает растительных остатков, участвующих в новообразовании гумусовых веществ (табл. 2). В почвах с кормовыми севооборотами процессов дегумификации в 1957–1992 гг. по расчетам не наблюдалось вообще. Баланс гумусовых веществ в этот период был положительным и под культурами травянопропашного севооборота он составил +0,15 т/га в год, или +0,007 % в год, а в почвах с травопольным севооборотом ежегодный прирост составил 0,33 т/га в год, или 0,016 % в год.

В почвах третьей группы дегумификации не наблюдалось и прирост уровня гумусированности составил +0,48 и +0,21 % за весь период наблюдений в почвах с травяным и травянопропашным севооборотами соответственно. Таким образом, наиболее высокие расчетные темпы дегумификации получены для почв первой группы, в которых за рассматриваемый период содержание гумуса снизилось от 0,12 до 0,78 % от веса почвы в зависимости от типа севооборота и в процентах к исходному гумусированность почв под зерновым севооборотом составила 93,6 %, зернотравяным – 95,7 %, зернопаропропашным – 72,4 %, и зернопропашным – 85,1 %. Процессами эрозии в Каменском районе затронуты в основном мало- и среднегумусовые почвы, приуроченные к верхним и средним частям пологих и покатым склонам. За счет этих процессов потери гумуса почвами возрастают и достигают 20–30 % от исходного. Наиболее интенсивно эрозионные потери гумуса проявлялись под культурами зернопропашного и зернопаропропашного севооборотов.

Сопоставление фактических данных по содержанию гумуса в почвах Каменского района после двух туров обследований (в 1957 и 1992 гг.) подтвердило установленную ранее расчетным путем дегумификацию: для почв первой группы значения оказались  $2,83 \pm 0,12$  % и  $2,65 \pm 0,18$  %, для почв второй группы  $5,19 \pm 0,33$  % и  $4,84 \pm 0,17$  % и третьей группы –  $9,83 \pm 0,21$  % и  $8,52 \pm 0,47$  % соответственно в 1957 и 1992 гг.

С целью уточнения количественных параметров дегумификации и ее пространственного проявления были проанализированы паспортные ведомости двух туров (1982 и 1987 гг.) агрохимического обследования территории совхоза «Родина» как одного из типичных хозяйств зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа. Нами выбраны одни и те же полевые массивы, что позволило сопоставить аналитические данные и определить баланс гумусовых веществ за указанный отрезок времени. Объем выборки составил 120 пар, каждая пара характеризовала полевой массив известной площади, что позволило определить изменение гумусированности пахотных почв на строго определенной площади. Анализ баланса содержания гумусовых веществ по конкретным площадям показал, что за указанный период на 60,9 % территории произошло незначительное увеличение содержания гумуса, на 29,9 % площади произошло его существенное снижение, а на 9,2 % территории содержание гумуса в почве не изменилось. Выявлено, что содержание гумуса в годы проводимых туров достаточно тесно связано между собой: ранговый коэффициент корреляции Спирмена равен 0,31, что с вероятностью больше, чем 0,999 значительно отличается от нуля. Эта связь описывается следующим уравнением линейной регрессии:

$$Y = [(4,49 \pm 0,47) + (0,23 \pm 0,08) - X] \pm 1,54,$$

где Y – содержание гумуса в почве в 1987 г., X – содержание гумуса в 1982 г.

Независимо от методических подходов к определению размеров дегумификационных процессов, наличие последних в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа зафиксировано, причем на территории совхоза «Родина» (как хозяйства с наиболее высоким уровнем агротехники) они имеют локальное проявление (30 % площади).

Данные по качественному составу гумуса предоставляют радиоэкологам возможность не только объяснить различия в современных уровнях накопления и особенностях профильного распределения радионуклидов в почвах зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа, но и с учетом материалов по интенсивности и

размерам дегумификации пахотных почв реконструировать и прогнозировать изменение радиационной обстановки в агроэкосистемах.

Гумусовое состояние почв должно стать одним из объектов почвенного мониторинга, поскольку изменения в запасах и фракционно-групповом составе выступают возможной причиной увеличения доступности радионуклидов сельскохозяйственным растениям.

В целом почвы зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа благодаря их высокой гумусированности и особенностям качественного состава гумуса обладают высоким защитными и аккумулятивными функциями.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

**Агроклиматический** справочник по Свердловской области. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1962. – 196 с.

**Агрохимические** методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.

**Гумус и почвообразование** в агроэкосистемах / В. П. Фирсова, Ю. Г. Красуский, П. В. Мещеряков, Т. А. Горячева. – Екатеринбург: Наука, УрО РАН, 1993. – 150 с.

**Итоги** изучения и опыт ликвидации последствий аварийных загрязнений территорий продуктами деления урана / Под ред. А. И. Бурназяна. – М.: Энергоиздат, 1990. – 144 с.

**Комплексная** характеристика радиологического и химического загрязнения почвы, сельскохозяйственной продукции и водных источников на территории пострадавших районов Свердловской области / В. П. Фирсова, И. В. Молчанова, В. В. Тошев и др. // Радиация, экология, здоровье. – Екатеринбург: УрО РАН, 1994. – Ч. 1. – С 153-159.

**Куликов Н. В., Молчанова И. В., Каравалева Е. Н.** Радиоэкология почвенно-растительного покрова. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – 169 с.

**Молчанова И. В., Каравалева Е. Н.** Эколого-геохимические аспекты миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 161 с.

**Орлов Д. С., Гришина Л. А.** Практикум по химии гумуса: Учеб. пособие. – М.: МГУ, 1981. – 272 с.

**Павлоцкая Ф. И.** Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. – М.: Атомиздат, 1974. – 215 с.

**Панкова Н. А.** Определение гуминовых кислот, массы корней и растительных остатков в почве // Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1965. – С. 59-63.

**Пономарева В. В., Плотникова Т. А.** Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). – Ленинград: ВАСХНИЛ. ВИР, 1975. – 105 с.

**Почвенно-экологические** условия накопления и перераспределения радионуклидов в зоне ВУРС / В. П. Фирсова, И. В. Молчанова, П. В. Мещеряков и др. – Екатеринбург: Екатеринбург, 1996. – 140 с.

**Рекомендации** для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв / Сост. К. В. Дьяконова. – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1984. – 96 с.

**Сельскохозяйственная радиоэкология** / Под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. – М.: Экология, 1992. 440 с.

**Справочник агронома** Нечерноземной зоны / Под ред. Г. С. Гусева. – М.: Агропромиздат, 1990. – 575 с.

**Тарановская М. Г.** Методы изучения корневых систем. – М.: Сельхозиздат, 1957. – 261 с.

**Тюрюканов Э. Б.** Экология стронция-90 в почвах. – М.: Атомиздат, 1976. – 128 с.

**Фирсова В. П., Мещеряков П. В., Прокопович Е. В.** Особенности пространственного распределения стронция-90 и цезия-137 в почвах ВУРСа // Урал атомный: Наука, промышленность, жизнь: Тез. докл. 3 Междунар. симп. – Екатеринбург: УрО РАН, 1995. – Ч. 1. – С. 86-88.

**Экологические** последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале / Под ред. В. Е. Соколова, Д. А. Криволицкого. – М.: Атомиздат, 1968. – 472 с.

*Надійшла до редколегії 03.12.04*