ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ЗОНЕ ВУРСА

ЕКАТЕРИНБУРГ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ
ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР АГРОХИМСЛУЖБЫ

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ЗОНЕ ВУРСА

Издательство «Екатеринбург»
1996

ББК 28.088л64
П65
УДК 631.4 + 504.53.054.621.039.7

Авторы:

В.П. ФИРСОВА, И.В. МОЛЧАНОВА, П.В. МЕЩЕРЯКОВ,
Т.С. ПАВЛОВА, Е.Н. КАРАВАЕВА, Е.В. ПРОКОПОВИЧ,
В.В. ТОЩЕВ

П65 **Фирсова В.П. и др.**

Почвенно-экологические условия накопления и перераспределения радионуклидов в зоне ВУРСа / В.П. Фирсова, И.В. Молчанова, П.В. Мещеряков и др. — Екатеринбург: Издательство «Екатеринбург», 1996. — 140 с.

ISBN 5-88464-026-9

В работе приводятся уровни современного радиационного загрязнения почв в зоне ВУРСа (на примере Каменского района Свердловской области), и выполнено зонирование отдельных хозяйств («Родина») по радиационному загрязнению. Сообщаются новые данные многолетних комплексных исследований о плодородии почвенного покрова и определены масштабы деградации почв.

Настоящая работа представляет собой первый опыт обобщения результатов почвенно-экологических исследований в Каменском районе и не знает аналогов как в масштабе Свердловской области, так и за ее пределами.

Материалы работы являются теоретической и организационной основой для реализации радиоэкологического мониторинга и могут быть использованы при качественной оценке земельных ресурсов и разработке практических рекомендаций по улучшению плодородия почв этого региона. Она представит интерес для экологов, работников сельского хозяйства и для целей экологического образования и просвещения.

М $\frac{21001-1740-008}{И84(03)-96}$ Без объявл. **ББК 28.088л64**

ISBN 5-88464-026-9

© Коллектив авторов, 1996
© Оформление. Издательство «Екатеринбург», 1996

ВВЕДЕНИЕ

Во время Кыштымской аварии 1957 года на ПО «Маяк» (Южный Урал) было выброшено около 2 млн. Ки радиоактивных веществ, которые, постепенно выпадая на поверхность почвенно-растительного покрова, сформировали Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). Максимальная длина образовавшегося следа составила 300 км. Его территория с плотностью загрязнения более 0.1 Ки/км2 достигла 23 тыс. км^2 и захватила Челябинскую, Свердловскую и Тюменскую области (Бурназян, 1990). Площадь загрязнения в Свердловской области составила 470 км2, из них около 55% пришлось на сельхозугодья, в том числе на пашню до 30% (Экологический бюллетень, 1995).

В результате распада короткоживущих радионуклидов за 25 лет плотность загрязнения по суммарной радиоактивности снизилась в 34 раза, основным загрязнителем в зоне выброса стал ^{90}Sr, принимаемый в качестве реперного радионуклида (Заключение комиссии ..., 1991).

Существенный вклад в радиоактивное загрязнение почвенно-растительного покрова этого региона внес ветровой сдув донных отложений береговой зоны оз. Карачай, в которое сбрасывались радиоактивные отходы ПО «Маяк». В результате засушливого лета 1967 года берега этого озера обнажились и 20 Т Bq ^{90}Sr и ^{137}Cs в отношении 1:3 были рассеяны на территории 1800 км^2 (Nikipelov et al, 1990).

Кроме того на формирование радиационной обстановки, как сообщается в экологическом бюллетене (1995), в Свердловской области оказали также влияние воздушный ядерный взрыв 14 сентября 1954 года в ходе Тоцкого войскового учения (Оренбургская область), проведенные в народнохозяйственных целях взрывы в Оренбургской и Пермской областях и в Башкортостане. По данным этого же источника в результате испытаний ядерного оружия на Семипалатинском и Северном полигонах запас цезия-137 на Урале составил 0.1 Ки/км2 и более, что в 2 раза превышало плотность загрязнения почв равнинной территории РСФСР (0.05 Ки/км^2) до Чернобыльской катастрофы.

По данным Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов (Государственный доклад, раздел 7, 1994) в районах, расположенных в зоне влияния ПО «Маяк» на Южном

Урале, выпадение цезия-137 из атмосферы в течение 1993 года в 50-150 раз превышало средние по стране.

Таким образом в уральском регионе сложилась чрезвычайно сложная радиационная обстановка, оценка которой требует тщательного комплексного изучения всех природных объектов и, в частности, почвенного покрова. Если на территории Челябинской области со времени Кыштымского взрыва проводились системные наблюдения за содержанием радионуклидов в почвах, то в Свердловской области такие данные практически отсутствуют. И, более того, вопрос о первоначальной плотности загрязнения почвенного покрова области до сих пор остается дискуссионным. Обобщение разнообразного картографического материала и определение современной плотности загрязнения (достигающей в Каменском районе, например, 5 Ки/км^2 и более), проведенное Институтом Промышленной экологии УрО РАН (Чуканов, Баженов, Волобуев и др., 1994), позволило утверждать, что начальные уровни загрязнения в Свердловской области были существенно выше, чем было объявлено официально в опубликованной в 1990 году схеме и могли достигать 12-15 Ки/км^2.

Кроме того, согласно вновь полученным данным, названные авторы считают, что ширина следа в границах 1.0 Ки/км^2 в 2-3 раза больше, чем указывалось в официальных документах 1958-1959 г.г., а уровни загрязнения цезием-137, как правило, превышают уровень глобальных выпадений. Об этом свидетельствуют опубликованные в последние годы данные о радионуклидном загрязнении почвенно-растительного покрова Свердловской области (Ааркрог, Дальгаард, Караваева и др., 1992; Фирсова, Молчанова, Тощев и др., 1994; Фирсова, Мещеряков, Тощев и др., 1994; Фирсова, Мещеряков, Прокопович, 1995).

Что касается границ следа, то определенным основанием для необходимости их уточнения может служить, в частности, факт высокого содержания цезия-137 в почвах на болоте «Черное» (Каменский район Свердловской области), расположенном согласно опубликованной схеме за пределами ВУРСа (Нифонтова, Маковский, 1994).

Однако реконструкция плотности радиоактивного загрязнения территории Свердловской области чрезвычайно сложная и трудоемкая задача. Во-первых, потому, что плотность загрязнения радионуклидами со временем претерпевает значительные изменения, как вследствие их естественного радиоактивного распада, так и перераспределения в зависимости от свойств почв и их хозяйственного использования.

Согласно данным Романова, Мартюшова и др. (1993) спустя 25 лет после загрязнения в слое 0-5 см в почвах Челябинской

области в разных ландшафтно-геохимических условиях относительный запас стронция-90 составляет от 43 до 65%, а цезия-137 - от 67 до 95% от исходного. В слое 5-10 см всех типов ландшафтов относительные запасы стронция-90 колеблются от 25 до 43%, а цезия-137 - от 3 до 32%. Все это свидетельствует о разнообразии почвенно-экологических условий, определяющих неадекватное поведение радионуклидов в почвах.

Данные, полученные нами (Фирсова, Молчанова, Тощев и др., 1994) показали, что плотность загрязнения пахотного слоя почв зоны ВУРСа (совхоз «Родина» Каменского района Свердловской области) по состоянию на 1992 год для стронция-90 на порядок, а для цезия-137 - в 2-3 раза выше, чем за ее пределами (Красноуфимский, Ачитский, Белоярский и Режевской районы Свердловской области).

Отношение ^{90}Sr:^{137}Cs - 3 в почвах Каменского района и 0.2-0.4 в почвах других контрольных участков. За период наблюдений (с 1979 по 1992 г.г.) содержание стронция-90 уменьшилось приблизительно в 2 раза, тогда как концентрация цезия-137 практически не изменилась.

В целом к настоящему времени благодаря монографическому обобщению многолетних данных (Алексахин, 1963 - Радиоактивное загрязнение почвы и растений; Павлоцкая, 1974 - Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах; Куликов, Молчанова, 1975 - Континентальная радиоэкология; Рассел, 1971 - Поведение радионуклидов в почве; Сельскохозяйственная экология под редакцией Алексахина и Корнеева, 1991) сложилось общее представление об особенностях аккумуляции в почвах долгоживущих радионуклидов и включении их в пищевые цепочки в системе: радиоактивные выпадения - почва - сельскохозяйственные растения - сельскохозяйственные животные - человек. Выявлена также зависимость поведения радионуклидов в почвах от целого ряда физико-химических свойств и экологических факторов (Алексахин, Моисеева, Тихомиров, 1977; Павлоцкая, 1974; Прохоров, 1981; Баранова, Величко, Зубарева и др., 1985; и другие).

Поскольку почвы Зауралья отличаются значительным разнообразием, они представляют интересный объект для сравнительного изучения особенностей поведения радионуклидов. В этих почвах имеют место все движущие силы, приводящие к миграции радионуклидов в почве - конвективный перенос (фильтрация атмосферных осадков вглубь почвы), капиллярный подток влаги к поверхности в результате испарения, термоперенос влаги под действием градиента температуры, диффузия свободных и адсорбированных ионов, перенос по корневым сис-

темам, перенос на мигрирующих коллоидных частицах (лессиваж), роющая деятельность почвенных животных, хозяйственная деятельность человека. Если в начальный момент времени (после взрыва или атмосферного переноса) радионуклид находится в очень тонком поверхностном слое почвы, то в последующем зона его максимальной концентрации может смещаться вглубь почвы. В связи с этим возникает необходимость определения плотности загрязнения радиоактивными веществами не только на поверхности почвы, как обычно делается соответствующими службами, а в более значительной почвенной толще в зависимости от задач и объекта исследований.

Такие данные представляют большой интерес не только для оценки современного радиоэкологического состояния почвенного покрова зоны ВУРСа, в пределах ее слабоизученной части, но и для целей прогнозирования возможных последствий загрязнения сходных почв других регионов.

Работа выполнялась в течение 1992-1993 г.г. по хоздоговору с Госкомчернобылем под научным руководством д.б.н., проф. В.П.Фирсовой.

После того как была снята «завеса секретности» об Уральском радиоактивном следе были подведены итоги многолетнего изучения «Экологических последствий радиоактивного загрязнения на Южном Урале» (1993). В этой работе преимущественное внимание было уделено воздействию радиоактивного загрязнения на растительность и животный мир этой территории.

Полученные нами данные о радиоактивном загрязнении почв, как компонента биогеоценоза, расширяют представление о его экологических последствиях. Впервые для территории ВУРСа проведено тщательное изучение качественного состава гумусовых веществ, позволившее реконструировать проводимую в послеаварийный период рекультивацию (известкование, особая механическая обработка почв). Установлен факт резкого (не известного для других природных аналогов почв) преобладания гуминовых кислот над фульвокислотами в основном за счет гуматов кальция. При этом не исключается возможность закрепления гуматов стронцием - химическим аналогом кальция.

Кроме того, до сих пор не проводился учет массы пожнивно-корневых остатков и определение в них запасов радионуклидов. Полученные нами данные позволили впервые установить количественные параметры круговорота радионуклидов в почвах агроценозов зоны ВУРСа.

На примере одного из хозяйств области проведено зонирование его территории не только по «современной» плотности загрязнения по стронцию-90, но с учетом отношения $^{90}Sr/^{137}Cs$,

которое значительно выше там, где большая плотность загрязнения.

Основываясь на принципах генетического почвоведения изучено профильное распределение радионуклидов вплоть до почвообразующей породы, которое позволило выявить ряд геохимических барьеров, наличие которых определяется как экологическими условиями почвообразования, так и особенностями хозяйственного использования (лес, пашня, луг).

Несомненно публикуемые в этой работе данные представляют интерес для разработки концепции мониторинга загрязненных территорий как радионуклидами, так и различными техногенными поллютантами.

Выявлена и количественно оценена дегумификация почв, повышение их кислотности на фоне общего снижения известкования, применения минеральных и органических удобрений, что может способствовать повышенной мобильности загрязнителей и требует решения ряда практических вопросов.

Сообщаемые здесь новые сведения о почвенном плодородии района исследования могут быть использованы в практике сельского и лесного хозяйства для мелиоративных целей.

Коллектив авторов благодарен академику В.Н. Большакову и д.ф.н. В.Н. Чуканову за помощь в организации работы и поддержку.

ГЛАВА 1

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Обследованная территория в административном отношении находится в пределах Каменского района Свердловской области. Согласно лесорастительного (Колесников, 1960) и геоботанического (Горчаковский, 1968) районирования территория района относится к Зауральской лесостепи, которая характеризуется чередованием лугово-степных пространств (большая часть которых распахана), березовых, березово-осиновых колков и реже сосновых лесов. Леса в Каменском районе занимают площадь 60206 га (25-26%), луга - 18528 га (8.1 %), болота - 2791 га (1.22%). На долю сельскохозяйственных угодий и урбанизированной территории приходится соответственно 133123 га (18.14%) и 10254 га (4.48%).

По климатическим условиям рассматриваемая территория относится к теплому незначительно засушливому подрайону с суммой температур > 10° около 1800° и гидротермическим коэффициентом 1.4-1.2 (Агроклиматический справочник по Свердловской области, 1962). Она простирается в пределах восточной части абразионно-эрозионной равнины Зауралья и примыкающей к ней Западно-Сибирской низменности (Чикишев, 1966).

Абразионно-эрозионная платформа характеризуется увалисто-равнинным рельефом с высотными отметками 290-300 м над уровнем моря. В восточной части платформы большое распространение получили «цветные глины», которыми сложены верхние части увалов. При переходе к Западно-Сибирской низменности, на междуречьях пологих склонов увалов и междуувальных понижений встречаются желто-бурые и бурые делювиальные опесчаненные карбонатные глины и суглинки. В пределах Западно-Сибирской низменности, занимающей водораздел реки Исеть и ее притока реки Синара, возрастает выровненность и уменьшается высота местности. Этот водораздел представлен волнисто-увалистой равниной с большим количеством озер и бессточных понижений, занятых болотами и лесными колками.

По долинам рек и вокруг озер распространены аллювиальные наносы, на которых формируются пойменные почвы. Местами, по понижениям, имеют место выходы засоленных отложений.

В целом природные условия района обеспечивают возможность возделывания большинства сельскохозяйственных культур, чему благоприятствует и почвенный покров рассматриваемой территории.

Закономерности распространения почв сопряжены с рельефом и водным режимом местности. На хорошо дренированных междуречьях с глубоким уровнем грунтовых вод формируются автономные почвы. Это черноземы оподзоленные и выщелоченные (27.5% от общей площади района); серые лесные (31.4%), дерново-подзолистые (0.5%) почвы.

На плоских водоразделах и участках с затрудненным внутрипочвенным стоком под влиянием верховодки формируются полугидроморфные почвы: лугово-черноземные (3.7%), солоди луговые (2.5%), серые лесные глеевые (5.1%). Отрицательные формы рельефа и участки с близким уровнем залегания грунтовых вод заняты гидроморфными почвами: луговые (собственно луговые 12.5% и влажно-луговые 1.6%), солончаки, солонцы и солоди (0.4%), лугово-болотные (1.9%) и болотные почвы (6.3%) (табл. 1).

На пахотных угодьях доминируют черноземы (50% площади) и серые лесные (40%) из них 19% приходится на темно-серые, а на сенокосах и пастбищах широко представлены луговые, лугово-черноземные и влажно-луговые почвы (около 40%) и разные подтипы преимущественно оглеенных почв (около 30%).

Большая часть пахотных земель занята яровыми зерновыми культурами. Согласно многолетним данным яровая пшеница занимает 15-25%, ячмень - 8-17% и овес - 3-5% площади пашни. В последние годы наблюдается тенденция к увеличению посевов озимой ржи, причем нередко она выступает в роли промежуточной культуры. В структуре посевных площадей велик удельный вес и традиционных для этой зоны кормовых культур - кукурузы и многолетних трав. Причем последние в хозяйстве возделываются как на сено, так и на зеленый корм и семена. На поливных землях кроме клевера и тимофеевки луговой выращивают овсяницу луговую, ежу сборную, кострец безостый.

В посевах овощных культур преобладает картофель (5-10% площадей сельскохозяйственных угодий), причем в последние 1-2 года в посадках этой культуры увеличивается доля общественных огородов. Кроме него возделываются морковь, капуста, кормовые корнеплоды. Посевы этих культур занимают очень незначительные площади (даже по сравнению с картофелем). В хозяйствах Каменского района широкое распространение получили овощные и смешанные севообороты. В овощекормовом севообороте традиционные кормовые культуры (картофель, морковь, свекла, капуста) чередуются с многолетними и однолетними травами. В состав однолетних кормовых культур вводятся овес, горох, подсолнечник, что существенно повышает продуктивность посевов и улучшает качественные показатели получаемой сельскохозяйственной продукции.

Таблица 1

Систематический список почв Каменского района

Название почвы	Общая площадь		Пашня и пастбища		Сенокосы		Лес		Кустарники		Болота		Прочее	
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Дерново-подзолистые	971	0.5	31	-	98	-	813	2.3	1	0.1	2	-	26	0.2
Светло-серые	17335	9.7	5970	6.6	2942	9.7	8165	23.3	34	2.4	46	0.5	178	1.9
Серые	20398	11.5	12655	13.7	2813	9.3	4862	13.9	27	1.9	22	0.2	19	0.2
Темно-серые	18135	10.2	15369	16.8	1626	5.4	1005	2.9	6	0.4	28	0.3	101	1.0
Светло-серые глеевые и глееватые	681	0.4	106	0.1	178	-	368	1.0	2	0.1	7	0.1	20	0.2
Серые глеевые и глееватые	4131	2.3	1329	1.4	789	2.6	1785	5.1	77	5.4	85	1.0	66	0.6
Темно-серые глеевые и осолодлелые	4152	2.4	2149	2.3	881	2.9	1073	3.0	6	0.4	40	0.5	3	-
Черноземы оподзоленные	28520	16.1	26764	28.9	1237	4.1	475	1.3	9	0.5	3	-	32	0.3
Черноземы выщелоченные	20317	11.4	19234	20.8	830	2.5	247	0.7	4	0.2	2	-	-	-

(продолжение таблицы 1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Лугово-черноземные	6574	3.7	4230	4.6	1589	5.2	722	2.0	21	1.5	9	0.1	3	-
Луговые	21588	12.1	3028	3.2	10973	36.2	7041	20.2	197	13.9	327	3.7	22	0.2
Влажно-луговые	2894	1.6	343	0.4	1060	3.5	1274	3.6	77	5.4	135	1.6	5	-
Болотные	11208	6.3	131	0.1	2155	7.1	2525	7.3	556	39.1	5838	67.5	3	-
Лугово-болотные	3305	1.9	54	-	743	2.4	764	2.1	168	11.9	1576	18.1	-	-
Солоди луговые	4500	2.5	207	0.2	644	2.1	2937	8.5	157	11.0	536	6.1	19	0.2
Солончаки и солонцы	794	0.4	126	0.1	440	1.5	203	0.6	2	0.1	12	0.1	11	0.1
Аллювиально-дерновые	1159	0.6	259	0.3	586	1.9	209	0.6	77	5.4	20	0.2	8	0.1
Овражно-балочные	332	0.2	27	-	181	0.6	116	0.3	3	0.1	1	-	4	-
Перерытые земли	490	0.3	91	0.1	225	0.7	116	0.3	2	0.1	18	0.2	38	0.4
Слаборазвитые и обнажения коренных пород	1100	0.7	360	0.4	365	1.2	367	1.0	2	0.1	-	-	16	0.2
Прочее	9306	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9306	94.4
Всего по району	177900		92463	53	30355	17	35067	19	1428	1	8707	5	9815	5

ГЛАВА 2

МЕТОДЫ ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Полевое обследование почв проводилось с учетом их генетического разнообразия, ландшафтно-геохимических особенностей территории и первоначального загрязнения ее радионуклидами. Исходя из этого было заложено несколько трансект, ориентированных как по странам света, так и по отношению к центральной оси следа.

Трансекта N 1 «Западная» проходила вблизи населенных пунктов Клевакинское, Лебяжье, Перебор, Часовая, Исетское, Троицкое, Старикова. Протяженность этой трансекты от с. Клевакинское на севере района до с. Старикова в юго-западной ее части составила 35 км (рис. 1).

Трансекта N 2 «Южная» пересекла район исследования с северо-запада (с. Сосновское) на юго-восток (с. Пирогово), захватывая береговую зону наиболее загрязненных озер Тыгиш, Червяное, Б. Сунгуль, а перпендикулярная ей трансекта N 3, протяженностью 32 км проходила вдоль центральной оси следа в пределах пос. Щербаково - Бортниково - Беловодье - Свобода. В восточной части Каменского района обе трансекты располагались параллельно центральной оси следа. Трансекта N 4 проходила в районе населенных пунктов Травянское - Б. Грязнуха - Монастырка - Новоисетское - Пирогово - Сипавское - Новый быт - Окулово; а трансекта N 5 охватывала территории в районе н.п. Колчедан - Боевка - Соколова - Крайчикова - Чернушка.

Наряду с трансектами на водосборной площади нижнего течения реки Каменка на отрезке Клевакинское - Мухлынина - Черноусово - Черемхово - Новый Завод было заложено 8 топоэкологических профилей. Они располагались на правом (1 - 4 профили) и левом (5 - 8 профили) берегах реки Каменка, пересекали ее пойменную часть и выходили к водоразделу. Аналогичные топоэкологические профили (9 - 10) были заложены в пойменной части реки Исеть на участке н.п. Смоленское - Щербаково - Кодинка.

Топоэкологический профиль N 1 (рис. 1, 2) заложен за пределами следа, на северо-западной окраине с. Клевакинское. Протяженность его 1,2 км, перепад высот от 200 до 170 м над ур.моря; почвы представлены черноземами выщелоченными, используются как многолетние культурные пастбища.

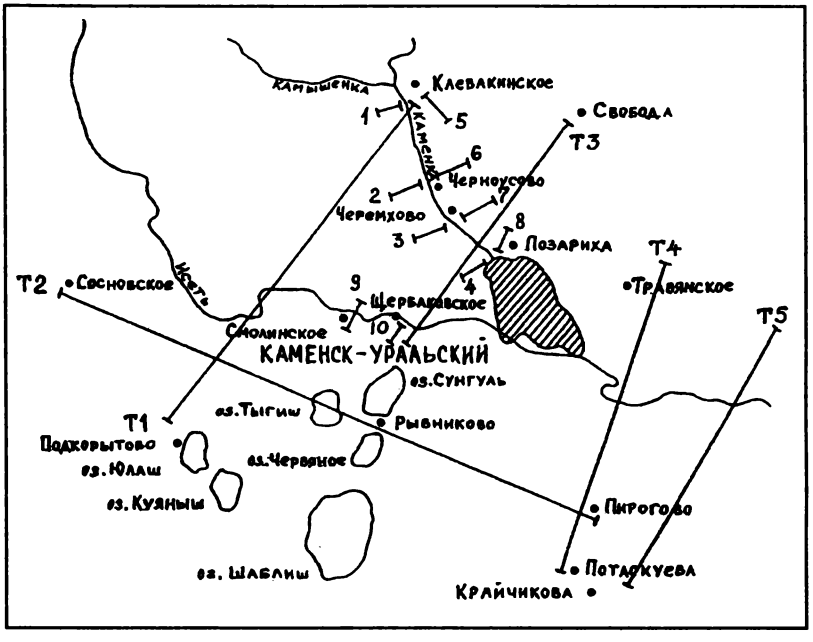


Рис. 1. Схема расположения трансект и топоэкологических профилей

Т 1–5 — номера трансект; 1–10 — номера топоэкологического профиля

Топоэкологический профиль N 2 (рис. 1, 2) заложен на северо-западной окраине с. Черноусово. Протяженность профиля около 3,6 км, перепад высот от 200 до 170 м над ур. моря. Почвы представлены светло-серыми лесными оподзоленными (в лесу), серыми лесными оподзоленными (на пашне), темно-серыми элювиально-глееватыми (в блюдцеобразном понижении в колке), черноземом выщелоченным (на пашне), аллювиальной дерновой (в пойме реки).

Топоэкологический профиль N 3 проходит в районе северо-западной окраины д. Черемхово. Протяженность профиля 4,4 км, перепад высот от 195 до 164 м над ур.моря. Почвы представлены светло-серыми лесными эродированными, черноземами оподзоленными и олуговелыми и аллювиальными дерновыми.

Топоэкологический профиль N 4 (рис. 1, 2) заложен в 1,5 км южнее д. Черемхово. Протяженность его 1,8 км, перепад высот от 180 до 150 м над ур.моря. представлены темно-серыми слабо

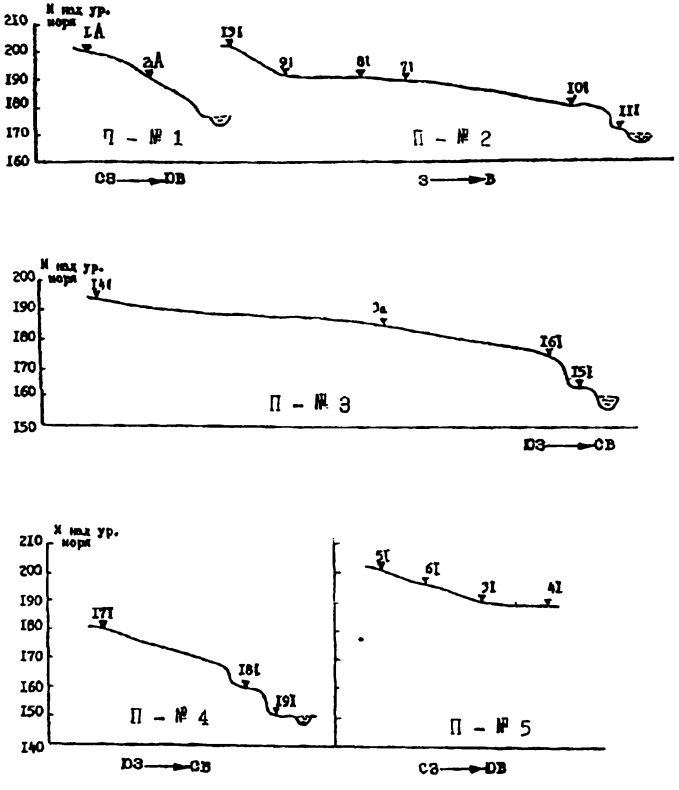


Рис. 2. Топоэкологические профили

эродированными, темно-серыми оподзоленными и аллювиальными дерновыми.

Левый берег р.Каменка с двумя притоками: Чернушка и Черемшанка имеет значительно большую территорию водосбора. Коренной берег на большей части течения реки высокий (до 200 м), воды в реку Каменку поступают через болота, из которых и вытекают притоки Каменки.

Топоэкологический профиль N 5 (рис. 1, 2) характеризует водосбор осушенного Черемшанского болота, из которого вытекает речка Черемшанка, расположен за пределами следа. Протяженность профиля 1,5 км, перепад высот от 200 до 190 м над ур.моря. Почвы представлены светло-серыми лесными оподзоленными (под лесом), черноземом солонцеватым (на пашне), луговой

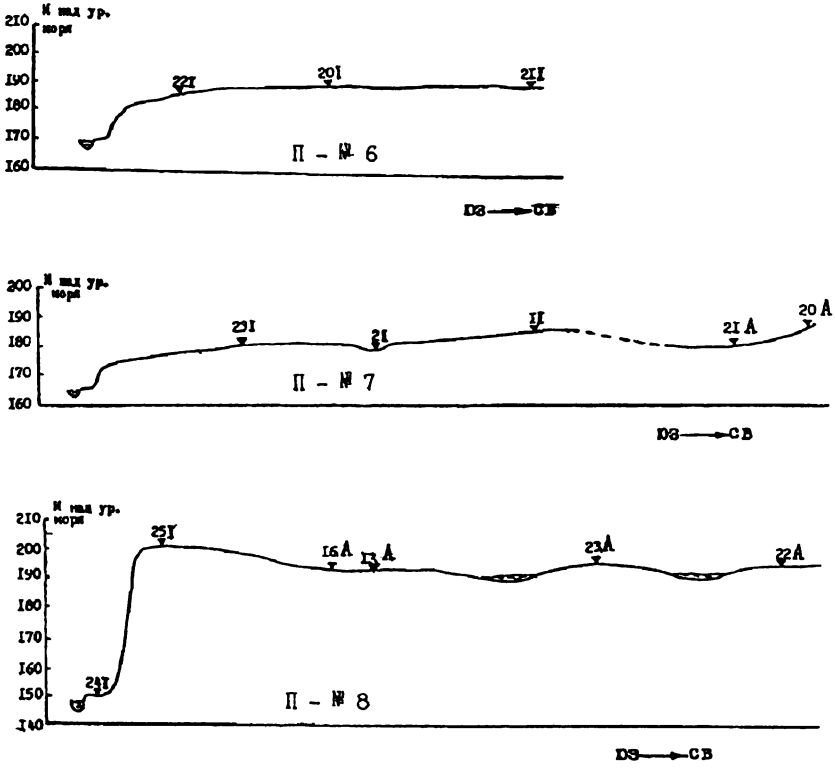
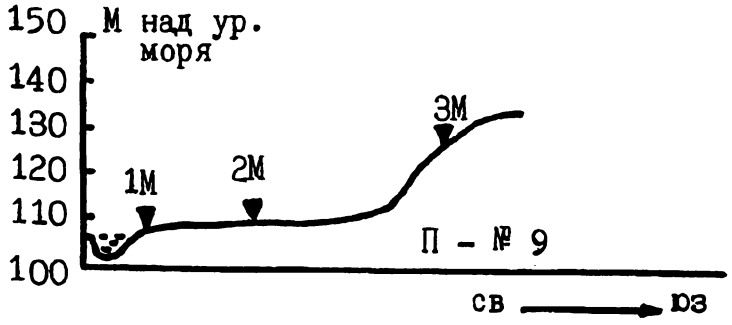


Рис. 3. Топоэкологические профили

карбонатной (под сенокосом), торфяником низинным карбонатным осушенным (сенокос).

Топоэкологический профиль N 6 (рис. 1, 3) заложен на восток от д.Черноусово. Протяженность профиля 4 км, перепад высот от 190 до 170 м над ур.моря. Воды с этой территории поступают непосредственно в р. Каменка. Повышенная выровненная часть территории представлена черноземами оподзоленными, темно-серыми почвами.

Топоэкологический профиль N 7 (рис. 1, 3) имеет протяженность 12 км, перепад высот от 180 до 165 м над ур.моря. Характеризует водосбор припойменного ручья и р.Каменка. Почвы представлены лугово-черноземными, темно-серыми, торфяно-болотными низинными карбонатными, черноземами выщелоченными.



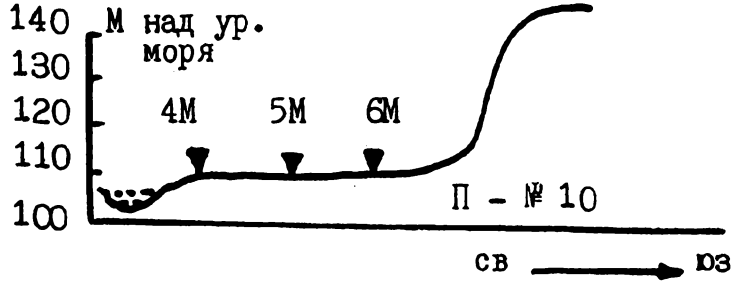


Рис. 3. Топоэкологические профили

Топоэкологический профиль N 8 (рис. 1, 3) расположен между бывшей д. Бортниково и д. Новый завод, протяженность 6 км, перепад высот от 200 до 150 м над ур.моря. Профиль характеризует водосборную площадь р. Чернушка и р. Каменка. Представлен черноземами выщелоченными, серыми лесными оподзоленными глеевыми и аллювиальными насыщенными.

Топоэкологический профиль N 9 (рис. 1, 4) протяженностью 1.0 км заложен на правом берегу реки Исеть в районе н.п. Смоленское. Он охватывает прибрежную часть, центральную пойму реки и склон надпойменной террасы. Почвы влажно-луговые и алювиально-дерновые используются как многолетние пастбища.

Топоэкологический профиль N 10 (рис. 1, 4) протяженностью около 0.4 км охватывал прибрежную и центральную зоны реки в районе н.п. Щербаковка - Кодинка. Почвы влажно-луговые и аллювиально-дерновые.

Такой выбор обследуемых площадей и геохимических сопряжений позволил охватить значительное разнообразие экологических условий почвообразования (автоморфное, полугидроморфное, гидроморфное), все виды угодий (лес, пашня, луг), а также территории с различными уровнями радионуклидного загрязнения.

С целью выяснения вертикальной миграции радионуклидов и основных вертикальных внутрипочвенных барьеров проводилось преимущественно полнопрофильное изучение почв. Почвенные разрезы закладывали на выбранных однородных участках методом «конверта», размещая по углам и на пересечении диагоналей конверта. Впоследствии при отборе проб почвы составляли среднюю пробу из пяти образцов. Участки, на которых располагались «конверты» имеют площадь 100-400 м^2 и представительно описывают территорию от 5 до 10 га (ред. Алексахин, Корнеев, 1991). Как правило, этот метод использовали при обследовании более или менее однородной территории.

При проведении работ в западной части следа почвенные разрезы в 3-х повторностях закладывали на целинных участках вблизи поименованных выше населенных пунктов. В восточной части ВУРСа обследованная территория была условно разбита на квадраты площадью 3x3 км^2, в каждом из которых на более или менее однородных площадках размером 0.3x0.4 км^2 закладывали либо разрез глубиной до 1 м, либо 3-4 разреза, глубина которых составляла 50-70 см. При этом для закладки разрезов выбирали площадки, приуроченные к лесным массивам, колкам, старопахотным пастбищным угодьям. Прикопки (глубиной 20-30 см) располагали на пахотных землях.

Контрольные разрезы закладывали за пределами зоны аварийного выброса, в прибрежной зоне оз. Щучье, а также вблизи н.п. Рассоха. Следует отметить, однако, что уровень радионуклидного загрязнения выбранных контрольных участков может несколько превышать глобальный за счет вклада штатно работающих ядерно-энергетических предприятий Урала (Ааркрог и др., 1992).

Образцы почв в разрезах отбирали преимущественно вручную слоями 5-10 см с учетом мощности генетических горизонтов. Пользовались также пробоотборником, представляющим собой металлическую трубу диаметром 140 мм. Общий объем проб, отобранных таким способом, равнялся 765 см^3 с погрешностью +10%.

Кроме того, в 5-кратной повторности послойно (до глубины 50 см) отбирались цилиндром объемом 50 см^3 образцы почв для определения их объемной массы. С помощью поршня образец переносился в алюминиевые бюксы для последующего определе-

ния влажности в лаборатории. Данные определений использовали для оценки площадных характеристик запасов радионуклидов.

В местах закладки почвенных разрезов с фиксированной площади срезали наземную массу травянистых растений в количестве 3-5 кг. Основным методом учета надземной фитомассы был укосный. Учет общих запасов фитомассы на лугах и сенокосах проводился в разгар вегетации, когда они были максимальны, а зерновых культур - в конце фазы восковой спелости. Фитомасса, накопленная в посевах кукурузы на силос, учитывалась непосредственно перед уборкой урожая. На участке поля, типичном по микрорельефу и состоянию травостоя и культур (яровые зерновые, кукуруза), закладывались в 3-5 кратной повторности площадки размером 100x100 см (1 м^2), где срезалась надземная фитомасса до уровня поверхности земли и взвешивалась. После чего брались навески для определения влажности фитомассы сельскохозяйственных растений, которая была разделена на хозяйственно-ценную (основную продукцию - зерно) и побочную (солома, стерня). Из каждой части отбиралась и аликвота для анализа на содержание радионуклидов.

После снятия с поверхности почвы проб надземной фитомассы, исследовалась подземная часть растений и также были отобраны ризологические образцы для определения в подземных органах растений радионуклидов и тяжелых металлов. При изучении морфологических особенностей, установлении глубины проникновения, а также оценки общего развития корневой системы применялся траншейный метод (Тарановская, 1957; Панкова, 1965). При пользовании этим методом со стороны разреза, траншеи обнажается значительная часть подземных органов изучаемых растений. При подготовке к анализу ризологических образцов корни очищались от почвы сухой раскопкой на стенках по всему периметру разреза (траншеи). Отбор корней проведен только из пахотного (гумусового) горизонта.

В последующем, уже в камеральных условиях, была проведена более тщательная механическая очистка подземных органов растений от мелких частичек почвы. На следующем этапе растительные образцы были подвергнуты механическому измельчению.

Ввиду высокой трудоемкости ризологических исследований не удалось непосредственно в поле определить для всех выбранных в качестве объектов сельскохозяйственных культур запасы подземной фитомассы. Поэтому для тех вариантов опыта, где мы не располагали конкретными сведениями по запасам корней и растительных остатков, остающихся на поле после уборки урожая, таковые были определены расчетным путем с помощью уравнений линейной регрессии, полученных в результате статистического

анализа собственных и литературных данных (Левин, 1977; Рекомендации..., 1984). Определенному уровню продуктивности сельскохозяйственных культур соответствуют конкретные регрессивные уравнения (табл. 2).

Таблица 2

Биомасса полевых культур и уравнения регрессии для определения массы растительных остатков по основной продукции (урожаю), ц/га

Культура	Основная продукция	Уравнения регрессии для определения массы:		
		побочной продукции	поверхностных остатков	корней
Пшеница яровая	10 - 20	x=1,3y+ 4,2	x= 0,4y+ 1,8	x= 0,8y+ 6,5
	21 - 30	x=0,5y+19,8	x= 0,2y+ 5,4	x= 0,8y+ 6,0
Ячмень	10 - 20	x=0,9y+ 6,5	x= 0,4y+ 1,8	x= 0,8y+ 6,5
	21 - 35	x=0,9y+ 7,2	x=0,09y+ 7,6	x= 0,4y+13,4
Кукуруза на силос	100-200	нет	x=0,03y+ 3,6	x=0,12y+ 8,7
	201-350	нет	x=0,02y+ 5,0	x=0,08y+16,2
Травы многолетние на сено	10 - 30	нет	x= 0,2y+ 6,0	x= 0,8y+11,0
	31 - 60	нет	x= 0,1y+10,0	x= 1,0y+15,0

При выборе уравнения регрессии учитывалась урожайность сельскохозяйственной культуры. В том случае, когда мы не располагали такими собственными данными, были использованы материалы по урожайности основных сельскохозяйственных культур, полученные в районном управлении сельского хозяйства. При определении размеров ежегодно поступающей в почву массы корней под многолетними луговыми травами было принято допущение, что ежегодно только 1/3 массы подземных органов отмирает и участвует в биологическом круговороте и почвообразовании (Базилевич, Родин, 1971; Олифер, 1971). Уравнения позволяют получить данные по запасам корней для пахотного слоя (слой

0-20см), где сосредоточено от 65 до 90% общей массы подземных органов и откуда потребляется основная масса элементов питания.

В лабораторных условиях отобранную почву высушивали до воздушно-сухого состояния, растирали и просеивали через сито с ячейками 1 мм. Лесную подстилку или пробы, обогащенные органическим веществом, после высушивания озоляли при t - 500°. Из подготовленных таким образом проб квартованием отбирали средние - для радиохимического и гамма-спектрометрического анализов. Растительный материал также высушивали и озоляли, определяя параллельно зольность исследуемых образцов. Пробы золы использовали для определения содержания долгоживущих радионуклидов. В рамках Международного Союза радиоэкологов часть образцов почв и растений переслали в Данию в Riso National Laboratory для определения содержания в них трансурановых элементов.

Радиохимическое определение ^{90}Sr в образцах почвы и растений основано на их выщелачивании 6н HCl, групповом осаждении в полученных вытяжках оксалатов щелочноземельных элементов и последующем выделении из растворов оксалатов стронция и кальция в виде карбонатов. Химический выход стабильного стронция в присутствии кальция определяли методом пламенной спектроскопии, а содержимое ^{90}Sr по дочернему ^{90}Y. Иттрий-90 выделяли с использованием моноизооктилметилфосфоновой кислоты и ее соли миомфата трехвалентного железа. Радиометрию осадков проводили на малофоновой установке УМФ-1500 с торцовым счетчиком СБТ-13 при статистической ошибке измерений не более 10%. Ошибка вычисления окончательного результата по содержанию ^{90}Sr в исследуемых образцах складывается из статистических ошибок при радиометрии и ошибок, присущих фотометрическому методу определения химического выхода носителя и, как правило, не превышает 25%. Нижний предел обнаружения ^{90}Sr составляет при этом 1 Бк/кг.

Гамма-спектрометрический анализ образцов проводится на многоканальном анализаторе, с использованием в качестве детектора кристалла Na(Tl)I размером 150x150 мм с колодцем 60x100 мм при статистической ошибке в пределах 30%. Нижний предел обнаружения ^{137}Cs при таких условиях измерений составляет 10 Бк/кг. Расчет содержания радионуклидов проводится относительным методом путем сравнения величин полезной площади фотопика образца и эталона.

При статистической обработке результатов пользовались общепринятым методом вариационной статистики. Достоверность

имеющихся различий оценивали по критерию Стьюдента, за уровень значимости принимали р - 0.05.

В почвенных образцах наряду с содержанием радионуклидов определяли:

величину pH (вод. и сол.) потенциометрически

гидролитическую кислотность по Каппену

поглощенные основания Ca, Mg (трилонометрически)

гумус (углерод) по Тюрину

потерю при прокаливании для органогенных горизонтов

азот общий по Тюрину

подвижный калий на пламенном фотометре

подвижный фосфор фотоколориметрически

подвижное железо по Веригиной

содержание водорастворимых веществ (HCO_3, Cl, SO_4, Ca, Mg, K, Na).

Определение этих показателей проводилось по общепринятым методам (Агрохимические методы, 1975; Аринушкина, 1976).

Для отдельных разрезов проводилось определение валового химического и гранулометрического состава. Подробно был изучен качественный состав гумуса (по методу Пономаревой, Плотниковой, 1975).

Емкость катионного обмена, степень насыщенности почв основаниями, отношение C:N определяли расчетным путем. Величина ряда перечисленных показателей использована для установления корелятивной зависимости с содержанием радионуклидов в почве.

ГЛАВА 3

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почвенными и радиоэкологическими исследованиями, проведенными в Каменском районе Свердловской области в зоне ВУРСа, довольно полно охвачено разнообразие почв, представленных в почвенном покрове под разными видами угодий.

На выровненных водоразделах и пологих склонах доминируют выщелоченные и оподзоленные черноземы как правило тяжелого гранулометрического состава. Они повсеместно используются под пашню. Морфологическое строение черноземных почв рассмотрим на примере нескольких типичных разрезов.

Разрезом 21Ф вскрыт профиль чернозема оподзоленного, который заложен в 3 км северо-восточнее с. Черноусово. Равнина с небольшими понижениями, с общим незначительным уклоном к реке. Пашня, посев кукурузы.

$А_{пах}$	0—27см	Черный тяжелый суглинок с поверхности пылевато-зернисто-комковатой, с глубиной зернисто-комковатой структуры, влажноватый, плотноватый, в нижней части много стерневых остатков, включения мелкой гальки и песчинок. Граница ровная, переход по плотности и структуре ясный.
А1	27—43см	Черный тяжелый суглинок комковато-зернистой структуры, плотный, влажный. Переход языками.
АВ	43—54см	Темно-бурый, прокрашенный гумусом, тяжелый суглинок зернисто-мелко-ореховатой структуры, гумусовые затеки клиньями, глянец и белесоватая присыпка по граням структурных отдельностей. Граница неясная, переход постепенный.
В	54—92см	Бурый тяжелый суглинок комковато-мелко-ореховатой структуры, проникают отдельные гумусовые затеки (языками), плотный, вязкий. Переход постепенный.
ВС	92—100см	Бурый тяжелый суглинок неясно-крупно-ореховатой структуры, влажный, плотный, вязкий.

Черноземы выщелоченные значительно различаются по степени выщелоченности и гумусированности.

Разрез 13Ф характеризует чернозем слабовыщелоченный среднегумусный. Расположен в 100 метрах на восток от пос. Беловодье. Пашня, занятая однолетними травами, много крестоцветных. Выровненная поверхность; встречаются распаханные мокрые блюдца-западинки.

$A_{пах}$	0—25см	Черный тяжелый суглинок комковато-зернистой структуры, в нижней части горизонта встречаются пожнивно-корневые остатки. Переход постепенный, граница ровная.
A1	25—30см	Черный тяжелый суглинок, уплотненный, влажный, зернистой структуры, на свежем изломе блеск, пронизан корнями. Переход постепенный, граница ровная.
AB	35—45см	Темно-серо-бурый (прокрашен гумусом) тяжелый суглинок, плотный, влажный, зернистой структуры, пронизан корнями, вскипает от HCl с глубины 42 см. Граница волнистая, местами опускается до 55 см, переход ясный.
B_{Ca}	45—103см	Бурый с белыми карбонатными включениями тяжелый суглинок, вскипает от HCl, плотный, влажный, комковато-мелкоореховатой структуры, по граням карбонатная присыпка.
BC_{Ca}	103—120см	Светло-бурый с желтоватым оттенком (неоднороднoокрашенный) тяжелый суглинок, тонкопористый, вскипает от HCl, сырой, плотный, ореховатой структуры.

Разрез 10Ф заложен в 100м севернее с. Черноусова. Нижняя треть пологого склона к реке Каменка на первой речной террасе. Пашня. Чернозем сильно выщелоченный тучный.

$A_{пах}$	0—22см	От темно-серого до черного, с глубиной окраска становится более темной, с поверхности— мелкоглыбистой с глубиной — пылевато-комковатой структуры средний суглинок, сухой, встречаются мелкие зерна кварца, много растительных остатков различной степени разложения. Граница ровная, переход по цвету постепенный.

А1	22—32см	Черный тяжелый суглинок ореховато-комковатой структуры, влажноватый, плотный. Граница неровная— языками.
В1	32—45см	Темно-бурый, прокрашенный гумусом тяжелый суглинок мелко-ореховато-комковатой структуры, влажноватый, плотный. Переход постепенный, граница неясная (отдельные языки до глубины 50см).
В2	45—60см	Светло-бурый тяжелый суглинок мелко-ореховато-мелко-комковатой структуры, влажный, плотный, встречаются единичные кротовины, заполненные гумусированным мелкоземом. Переход постепенный, граница неясная.
BC_{Ca}	60—90см	Бурый с сероватым оттенком, при подсыхании светлеет, тяжелый суглинок рассыпчато-комковатой структуры, влажный, плотный, вскипает от HCl, отдельные кротовины.

В понижениях, западинах и нижних частях слабодренируемых склонов встречаются лугово-черноземные почвы, морфологическая характеристика которых приведена ниже.

Разрез 2Ф заложен в 2,1 км западнее д. Беловодье. Понижение среди выположенной равнины.

А1	0—49см	Черный тяжелый суглинок комковато-пылевато-глыбистой структуры, в верхней части пронизан корнями, встречаются пятнами и прослойками оторфованные растительные остатки.
AB_{Ca}	49—62см	Темно-серый с бурым оттенком единичными белесыми карбонатными пятнами тяжелый суглинок ясно ореховато-зернистой структуры. Весь вскипает от HCl.
B_{Ca}	62—70см	Коричневато-бурый с единичными охристыми белыми разводами тяжелый суглинок мелко-ореховато-зернистой структуры, мокрый, кипит от HCl. Верховодка на глубине 64см.

Итак для черноземных почв региона характерны слабая выраженность оподзоливания, наличие довольно мощного гумусового горизонта почти вдвое превышающего мощность пахотного слоя, тяжелый гранулометрический состав и наличие карбонатов в нижней части профиля.

Среди серых лесных почв важным компонентом почвенного покрова района являются темно-серые. Эти почвы также преимущественно используются под пашню. Наряду с этим они встречаются и в западинах под березовыми колками, где испытывают дополнительное увлажнение и, как правило, оглеены. Рассмотрим морфологическое строение темно-серых почв на примере естественной и пахотной разности.

Разрез 8Ф заложен в 1,6 км западнее с. Мухлынино. Колок в западине выровненного водораздела. Древостой колка березово-осиновый, центральная его часть мертвопокровная, по периферии—обильное лесное разнотравье: вейник, чина, сныть. Подлесок—смородина, шиповник, черемуха. Почва темно-серая лесная элювиально-глееватая.

А0'	0— 2см	Свежий, слабо разложенный опад, сухой.
А0"	2— 9см	Сильно разложенная темно-серого цвета с бурым оттенком подстилка, не густо пронизана корнями.
А1	9—21см	Темно-серый тяжелый суглинок неясно-комковатой структуры влажный, рыхлый, обилие корней. Граница ровная, переход резкий.
А2	21—35см	Пепельно-серый со слабо заметными охристыми разводами легкий суглинок неясно пластинчатой структуры, пронизан корнями, плотный. Граница волнистая, переход ясный.
B_g	35—50см	Бурый с сизоватым налетом, мелко-зернисто-ореховатой структуры тяжелый суглинок, встречаются единичные крупные камни.

Разрез 20Ф заложен в 2 км северо-восточнее с.Черноусово. Пашня, посев кукурузы. Поверхность выровненная, микрозападинная. Почва темно-серая лесная.

$А_{пах}$	0—26см	Темно-серый тяжелый суглинок пылевато-комковато-глыбистой структуры. Проведено известкование— кипит от HCl. С поверхности сухой, рыхлый, на глубине (с 14см)— влажноватый, глыбисто-комковатый (запахана прошлогодняя солома и слегка припахан ниже лежащий горизонт В). Жирный блеск на срезе, потеки гумуса до 50 см, мелкие песчинки кварца. Граница по цвету ясная, переход неровный.

В	26—50см	Темно-бурый ореховатой структуры средний суглинок, плотный, грани структурных отдельностей прокрашены гумусом, отмечается глянец на них. Влажноватый, по гумусовым затекам проникают корни растений, обильны блестящие песчаные кварцевые включения.

Аналогичные местоположения занимают серые и светло-серые почвы. В них значительно уменьшается мощность гумусового горизонта, сильнее проявляется оподзоливание, а на склонах они более подвержены эрозии.

Морфологические особенности естественных серых лесных оподзоленных почв рассмотрим на примере разреза 5Ф, заложенном в 2.6 км к востоку от с. Клевакинское на вершине пологого увала в березовом лесу. Обильное лесное разнотравье.

А0'	0— 1см	Неразложенный свежий опад.
А0"	1— 3см	Хорошо разложенная бурого цвета подстилка, пронизана корнями растений.
А1	3—19см	Серый с буроватым оттенком средний суглинок мелко-комковатой структуры, влажноватый, плотноватый, пронизан корнями растений. Граница волнистая, переход ясный.
А2В	19—30см	Светло-бурый с небольшой белесой присыпкой мелкоореховатой структуры средний суглинок, много мелких окатанных зерен породы и остроугольных обломков, влажноватый, плотный, много корней. Граница ровная, переход ясный.
В	30—50см	Бурый, обилие дресвы и обломков сланцевой породы, мелкозем рассыпчатый, среднесуглинистый, неясно-ореховато-комковатой структуры, плотный.

Морфологические особенности светло-серых естественных и пахотных лесных почв описываются разрезами 13Ф и 14Ф.

Разрез 13Ф заложен в 3 км к западу от с. Черноусова. Верхняя треть пологого склона (перегиб склона), водораздел реки Каменка. Березово-осиновый лес с лесным разнотравьем: сныть, вероника, клевер, наперстянка, злаки. Почва светло-серая лесная оподзоленная.

А0'	0— 1см	Свежий, слабо разложенный опад.

А0"	1— 2см	Хорошо разложенная темно-бурая, рыхлая подстилка, пронизана корнями.
А1	2—10см	Серый с буроватым оттенком пылевато-мелкокомковатой структуры средний суглинок влажноватый, плотноватый, пронизан корнями. Граница волнистая, переход резкий.
А2В	10—33см	Светло-бурый с белесой присыпкой легкий суглинок неясно-мелко-комковатой структуры плотный, единичные корни. Граница ровная, переход постепенный.
В1	33—55см	Бурый с гумусовой лакировкой по граням структурных отдельностей прочно-ореховатой структуры тяжелый суглинок, влажноватый, очень плотный. Переход постепенный.
В2	55—64см	Бурый с коричневатыми пятнами средний суглинок ореховатой структуры, влажный, плотный. Переход постепенный.
ВС	64—75см	Желто-бурый средний суглинок неясно-ореховатой структуры, влажный, плотный.

Разрез 14Ф заложен в 2,6 км на юго-запад от с.Черемхово. Верхняя треть склона. Пашня с посевом пшеницы и с обилием сорняков: осот, вьюнок полевой. Светло-серая лесная эродированная почва.

$А_{пах}$	0—25см	Серый средний суглинок с поверхности — комковато-глыбистый, с глубиной— комковатый, влажноватый, с поверхности— сухой, плотноватый, единичные затеки, редкие соломистые остатки. Переход резкий.
В1	25—53см	Светло-бурый тяжелый суглинок комковато-ореховатой структуры, плотный, по граням структурных отдельностей марганцовые примазки, встречаются зерна кварца. Переход постепенный, граница неясная.
В2	53—75см	Бурый тяжелый суглинок крупно-ореховатой структуры, тонкопористый, пятен марганца больше, чем в вышележащем горизонте, плотный, влажный.

На рассматриваемой территории встречаются серые лесные почвы, испытывающие избыточное грунтовое увлажнение.

Разрез 101Ф характеризует серую лесную глубинно-глеевую почву на двухчленном наносе. Заложен на выровненном пологом западном склоне к оз. Червяное. Пашня с посевом пшеницы.

Апах	0—20см	Темно-серый (при подсыхании светлеет) тяжелый суглинок, рыхлый, зернисто-комковатой структуры, в нижней части содержит большое количество пожнивных остатков, густо пронизан корнями. Переход по цвету постепенный, по плотности ясный.
А1	20—31см	Темно-бурый тяжелый суглинок, сырой, плотный (плужная подошва), комковато-глыбистой структуры с единичными пожнивными остатками, пронизан корнями, единично встречается кварцевая галька. Граница волнистая, переход резкий. В2
	31—60см	Темно-бурая (агрегаты с поверхности прокрашены гумусом и имеют серовато-бурый оттенок) глина влажная, очень плотная ореховатой структуры, вязкая с единичными корневинами, заполненными гумусовыми образованиями, с единичной кварцевой галькой. Переход постепенный, граница неясная.
В2	60—105см	Неоднородно окрашен в коричнево-бурые тона средний суглинок, плотный, влажный, глыбисто-крупно-ореховатой структуры, с единичной мелкой кварцевой галькой и единичными корнями. Переход постепенный.
BC_g	105—119см	Неоднородно окрашен с серыми, сизыми пятнами на буро-желтом фоне, опесчаненный средний суглинок комковатой структуры. Переход ясный.
С	119—135см	Коричневато-бурый песок, хорошо выветрившаяся дресва,с поверхности покрыта охристыми пленками.

Наряду со светло-серыми почвами в пределах северо-западной части изученной территории (окрестности сел Троицкое, Исетское, Часовая) под пологом сосновых лесов встречаются

дерново-подзолистые почвы разной степени выраженности процессов оподзоливания. Такие почвы развиты на элювии коренных пород; их профиль имеет следующее строение.

Разрез 7М

А0	0— 3см	Слабооторфованная подстилка.
А1	3—15см	Серый комковато-порошистый рыхлый легкий суглинок.
А2	15—28см	Белесовато-серый, супесчаный, плитчато-чешуйчатый.
В1	28—47см	Желтовато-бурый средний суглинок призмовидной структуры. По граням структурных отдельностей глянцевидные пленки.
В2	47—69см	Буровато-желтый ожелезненный средний суглинок с признаками вертикальной оструктуренности.

В прибрежной зоне озер Тыгиш, Б.Сунгуль и Червяное, а также в поймах рек Исеть, Синара, Исток, Каменка широко представлены аллювиальные дерновые почвы, часто оглеенные. Почвенный покров здесь формируется под гидрофитной луговой растительностью и используется под сенокосы и пастбища.

Разрез 2М характеризует аллювиальную дерновую почву поймы реки Исеть в районе н.п. Смоленское. Луговые угодья, используемые под сенокосы и пастбища.

$А_д$	0— 5см	Темно-серая дернина плотная зернисто-пористой структуры. Граница заметна по обилию корней.
А1	5—30см	Темно-серый легкий суглинок с хорошо выраженной ореховато-зернистой структурой, плотный, влажноватый. Граница волнистая, переход ясный.
В	30—53см	Буровато-коричневый средний суглинок с рассыпчато-комковатой структурой и тенденцией к образованию призмовидных отдельностей. Граница волнистая, переход ясный.
ВС	53—74см	Цвет неоднородный: от желто-палевого до бурого. Опесчаненные линзы чередуются с более тяжелыми, обогащенными гумусом слоями. Границы размыты.

C_g 74—95см На серовато-буром фоне охристые пятна, бурые прослойки, плохо выраженная слоистость, супесчаный, рассыпчатый, мокрый.

Разрез 8М характеризует аналогичную почву прибрежной полосы оз. Тыгиш.

$A_д$ 0— 5см Рыхлая дернина светло-серого цвета. Осветлена за счет отложения песчаных наносов. Иловатый средний суглинок.

A1 5—35см Неоднородный по цвету и гранулометрическому составу (от легкого суглинка до супеси), структура непрочно-комковато-творожистая. Граница заметна по цвету.

B_g 35—50см Сизовато-охристый опесчаненный легкий суглинок с включением бурых линз тяжелого суглинка. С 50 см и глубже озерные плохо отсортированные наносы с яркоохристыми и сизо-оглеенными пятнами.

В пойме реки Исток были выделены дерново-луговые солонцеватые почвы, охарактеризованные разрезом 17Ф, заложенным северо-восточнее с. Пирогово на пологом склоне к запруженной речке. Орошаемый выгон, посев многолетних трав.

A1 0—26см Черная легкая глина глыбисто-комковатой, структуры, влажная, плотная, вязкая, густо переплетена корнями растений с единичными комочками извести (известкование). Значительное количество полуразложившихся корневых остатков. Переход ясный, граница волнистая.

AB 26—50см Пестрая неоднороднoокрашенная (на буром фоне темно-серые и черные клинья, разводы, пятна) легкая глина, очень плотная, влажная, глыбисто-ореховатой структуры, пронизана корнями (корни пучками по ходам разложившихся корней). По граням агрегатов жирный блеск. Граница волнистая с единичными неглубокими затеками, местами до 55 см (языками). Переход ясный.

$B1_{Ca}$ 50—72см Пестроокрашенная легкая глина (на буром с марганцовыми примазками фоне коричнево-бурые пятна от обилия выветрелой породы) очень

плотная, ореховато-глыбистой структуры, вскипает от HCl в основном на глубине 53-68 см, единичные мелкие карбонатные пятна (размытая белоглазка), вязкая.

$B2_{Ca}$ 72—103см Шоколадно-бурая глина вязкая, слитая, бесструктурная, вскипает от HCl, содержит единичные игольчатые блестящие кристаллы. Переход постепенный, граница неясная.

BC_{Ca} 103—110см Шоколадно-бурая средняя глина слитая, много мелкой дресвы вскипает от HCl.

Особый интерес представляли участки, подвергнутые рекультивационным работам в ходе ликвидации последствий Кыштымской аварии. Один из таких участков был вскрыт разрезом 9М в северо-западной оконечности оз. Тыгиш. В профиле аллювиальной дерновой почвы в этом случае выделяется погребенный гумусовый горизонт, генезис которого, как будет показано ниже, связан с проводимыми в свое время дезактивационными работами. Морфологическое строение такой почвы следующее:

$A_д$ 0— 5см Слабосформированная дернина серого цвета, переплетена корнями травянистых растений.

A1 5—23см Очень плотный средний суглинок по цвету неоднородный (серый фон испещрен желто-палевыми включениями). Структура ореховато-зернистая. Граница резкая, заметна по цвету.

AB 23—48см Светлее предыдущего. Неоднородноокрашенный (желтовато-бурый с гумусовыми затеками по ходам землероек и с белыми вкраплениями минеральных удобрений). Граница ровная, переход резкий, заметен по цвету.

$A_{погр.}$ 48—109см Однородного темно-серого цвета средний суглинок ореховато-зернистой структуры. По ходам землероек встречаются слабооторфованные включения. Граница ровная, заметна по цвету. Впогр. 109см и глубже Палево-желтый тяжелый суглинок глыбисто-комковатой структуры.

Итак, для аллювиальных дерновых почв характерна сравнительно небольшая мощность гумусового горизонта, верхняя часть которого задернована. На поверхности некоторых из них заметен тонкий слой хорошо отсортированных песчаных наносов, раковин

моллюсков, панцири прудовиков. Динамизм пойменного почвообразовательного процесса отражается в неоднородности гранулометрического состава почв. Горизонт верховодки залегает близко к поверхности, обусловливая оглеение этих почв.

Торфяно-болотные и торфяно-глеевые почвы играют несущественную роль в почвенном покрове этой территории. Морфологическое строение почв этой группы рассмотрим на примере разреза 41Ф, который заложен в 3,5км восточнее села Клевакинское. Середина осушенного торфяного Черемшанского болота. Покрытие обильное. Торфяник осушенный карбонатный.

$T1_{Ca}$ 0—30см Бурый торф, сильно разложен, вскипает от HCl с поверхности, большое количество включений ракушек, влажноватый, пронизан корнями травянистой растительности.

$T2_{Ca}$ 30—50см Чередование слоев торфа, различных по окраске от светло-серого до бурого, все слои хорошо разложены с включением мелких ракушек, обильно вскипает от HCl. Переход постепенный.

AT_{Ca} 50—90см Черный, тяжело-суглинистый, зернистой структуры, сырой, в верхней части горизонта прослойки торфа, переходящие в нижней части в минеральную массу, вскипает от HCl. Переход постепенный.

C_{gCa} 90—100см Зеленовато-серый с охристыми и сизыми разводами тяжелый суглинок неясной мелко-ореховатой структуры, кипит от HCl, со 100 см выступает вода.

Из приведенных морфологических описаний следует, что почвы, выбранные в качестве объектов наших исследований формируются в широком диапазоне экологических условий. Они, хотя и имеют свои региональные особенности, но в целом по морфологическому облику и, как будет видно ниже, по основным показателям физико-химических свойств представительны для лесостепной почвенно-климатической зоны.

ГЛАВА 4

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

4.1 Водно-физические свойства почв

Выяснение причинно-следственной связи между поведением загрязняющих почву химических элементов разной природы и ее физико-химическими свойствами невозможно без подробной физико-химической характеристики почв. При этом наряду с комплексом физико-химических особенностей почв, определяющих миграционную способность радионуклидов, важную роль играет такая характеристика как гранулометрический состав, который является своеобразным механическим барьером на пути миграции загрязняющих веществ и определяет емкость поглощения катионов, а следовательно, удерживающую способность почв. Подтверждением является тот факт, что концентрация радионуклидов в разных почвенных фракциях увеличивается с уменьшением размера частиц (Юдинцева, Гулякин, 1968; Круглов и др., 1995).

Данные, полученные нами (табл. 3) показывают, что рассматриваемые почвы, включающие разновидности черноземов, серых лесных, а также дерново-луговые почвы, относятся к тяжелым по гранулометрическому составу (тяжелые суглинки и легкие глины). Разные генетические горизонты значительно отличаются друг от друга особенно по содержанию ила (фракция < 0.001 мм), определяющего обменную способность почв и характер дренированности почвенного профиля в целом. В большинстве случаев с глубиной гранулометрический состав становится более тяжелым, что затрудняет нисходящую миграцию веществ, и может вызывать застойные явления влаги разной интенсивности и продолжительности в зависимости от расположения почв по рельефу местности, а также поверхностную или внутрипочвенную миграцию от верхних элементов рельефа к нижним. Более реальная возможность для внутрипрофильного перемещения влаги и содержащихся в ней веществ может создаваться в почве разреза 10Ф, где наблюдается резкое уменьшение с глубины 65 см содержания физической глины (фракция < 0.01 мм) и ила (фракция < 0.001 мм). Иллювиальная дифференциация (то есть накопление ила в горизонте В) почв в одних случаях практически не выражена (разрез 9Ф, 61Ф), в других (разрез 17Ф) — наблюдается резкое, почти вдвое, увеличение содержания ила на глубине 26—36 см.

Таблица 3

Гранулометрический состав почв

NN разрезов	Местоположение, почва	Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, %; диаметр частиц, мм							
				1-0.5	0.5-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001	<0.01
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13Ф	с.Беловодье	Апах	0 - 8	2.4	6.6	12.3	29.9	13.5	11.6	23.7	48.8
	Чернозем	Апах	8 - 16	2.0	6.0	17.2	32.8	2.8	10.4	28.8	42.0
	выщелоченный	Апах	16 - 25	3.2	6.0	9.4	19.1	26.3	3.0	33.0	62.3
		А1	25 - 35	2.6	7.8	11.3	17.9	8.2	15.8	36.4	60.4
		АВ	35 - 45	3.0	6.4	9.5	15.0	15.7	1.0	49.4	66.1
		ВСа	80 - 90	2.0	5.2	14.7	15.6	15.1	15.4	42.0	62.5
9Ф	оз.Червяное	Апах	0 - 8	2.0	5.8	10.2	18.6	6.7	16.1	40.6	63.4
	Чернозем	Апах	8 - 16	1.6	6.0	3.5	24.6	11.3	8.7	44.3	64.3
	выщелоченный	Апах	16 - 23	1.6	5.8	21.4	16.0	4.7	12.1	38.4	55.2
		Апах	23 - 30	1.0	5.0	13.8	21.7	7.0	10.8	40.7	58.5
		А1	30 - 34	0.8	5.4	8.8	18.9	7.0	15.9	43.2	66.1
		В1	34 - 44	1.0	6.2	4.8	23.9	8.6	9.0	46.5	64.1
		В1	44 - 57	1.6	6.0	16.6	17.0	3.8	11.3	43.7	58.8

(продолжение таблицы 3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
61Ф	с.Клевакинское	Апах	0 - 7	4.2	12.4	18.3	16.1	9.8	12.0	27.2	49.0
	Чернозем	Апах	7 - 14	5.0	13.0	17.7	25.9	2.4	10.4	25.6	38.4
	выщелоченный	Апах	14 - 25	5.8	12.4	11.7	21.6	8.2	10.9	29.4	48.5
		А1	25 - 30	4.2	12.4	16.0	18.9	3.5	18.4	26.6	48.5
		В1	30 - 40	2.4	10.0	13.2	24.6	9.4	7.4	33.0	49.8
		В1	40 - 51	8.0	14.0	12.4	20.2	8.6	10.5	26.3	45.4
17Ф	с. Пирогово	А1	0 - 8	2.0	5.8	6.7	32.1	8.6	14.1	30.7	53.4
	Дерново-	А1	8 - 17	1.8	4.8	10.0	23.2	13.6	13.1	33.5	60.2
	луговая	А1	17 - 26	2.0	5.8	8.3	23.6	6.1	17.3	36.9	60.3
	солонцеватая	АВ	26 - 36	2.0	6.0	5.9	15.8	12.4	6.1	51.8	55.9
		АВ	40 - 50	8.5	9.0	7.1	19.5	10.7	8.2	37.0	55.9
		В1Са	60 - 70	3.6	6.0	13.1	19.7	5.4	15.1	37.1	57.6
		ВССа	103 -110	0	1.4	5.0	24.6	5.9	12.7	50.4	69.0
10М	Плакорная	Апах	0 - 5	9.6	18.9		7.7	8.9	13.1	43.0	65.0
	зона, оз.	Апах	5 - 10	9.5	5.6		12.2	7.8	10.0	48.2	66.0
	Тыгиш	Апах	10 - 15	8.3	3.4		16.9	5.9	11.0	47.5	64.4
	Аллювиальная	Апах	15 - 20	9.9	6.3		10.7	9.3	11.3	45.9	65.5
	дерновая	В1	20 - 25	13.7	15.7		14.6	10.9	7.7	34.1	42.7

(окончание таблицы 3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		B2	25 - 30	8.4	3.4		8.0	10.4	10.2	52.9	73.5
8M	Береговая	Ад	0 - 5	31.4	12.3		23.2	9.3	10.4	10.1	29.8
	зона оз.	A1	5 - 10	24.9	6.6		9.3	23.6	11.6	22.0	57.2
	Тыгиш	A1	10 - 15	37.3	5.4		15.8	11.4	7.7	18.4	37.4
	Дерново-луго-	A1	15 - 20	14.3	3.7		41.2	23.8	16.0	22.9	52.8
	вая оглеенная	A1	20 - 25	14.0	7.0		12.8	15.8	8.9	26.9	51.7
		A1	25 - 30	11.2	10.3		20.5	16.3	17.4	9.6	43.3
101Ф	оз.Червяное	Апах	0 - 10	2.0	6.2	24.1	23.7	2.2	6.5	35.3	44.0
	Серая лесная	Апах	10 - 20	2.0	7.4	17.5	25.2	11.1	55.9	30.8	47.9
	глубинно-глее-	A1	20 - 31	2.0	7.4	18.4	18.8	19.5	1.4	32.5	53.4
	вая на двучле-	B1	31 - 45	3.4	7.8	11.2	26.4	10.9	11.3	29.0	51.2
	нном наносе	B1	45 - 60	2.0	9.0	17.2	19.4	9.9	11.4	31.1	52.4
		B2	60 - 80	8.8	20.0	22.2	16.9	5.3	8.2	18.6	32.1
		B2g	90 -100	8.2	20.0	22.3	19.0	7.8	9.0	13.7	30.5
		C	120 -130	41.8	26.0	16.8	7.6	3.0	1.0	3.8	7.8

Данные, характеризующие гранулометрический состав почв плакорных участков, (табл. 3; разрез 10М) показывают, что в их гранулометрическом составе доминирует илистая фракция (34,1—52,0), а сумма фракции физической глины колеблется в разных горизонтах от 42.7 до 73.5%. Количество этих фракций относительно стабильно в пределах аккумулятивного бывшего пахотного горизонта. На глубине 20—25 см наблюдается значительная убыль (вымывание) ила и его накопление в нижележащем слое 25—30 см.

Гранулометрический состав луговой почвы береговой зоны оз. Тыгиш (разрез 8М) неоднороден. Содержание ила колеблется от 10 до 27%, а физической глины — от 30 до 57%. Наиболее легким гранулометрическим составом отличаются слои 0—5 и 10—15 см. В целом почвы плакоров тяжелее почв береговой зоны озер.

На рассматриваемой территории представлены также почвы на двучленных наносах: верхняя часть профиля которых характеризуется тяжелым гранулометрическим составом, а нижняя — супесчаная (раз рез 101Ф), что должно благоприятствовать нисходящей миграции веществ.

Итак, исходя из полученных данных, можно считать, что гранулометрический состав должен благоприятствовать адсорбции и накоплению химических элементов в изученных почвах. Кроме того, известно (Титлянова, 1963; Evans, Dekker, 1966; Алексахин и др., 1977), что основной, ответственной за сорбцию ^{137}Cs в почве является илистая фракция, обогащенная вторичными глинистыми минералами, количество которой достигает 50%. Почва с высоким содержанием крупной пыли и ила при значительных уклонах местности сильнее подвержены водной эрозии, что определяет горизонтальную миграцию химических элементов.

Водно-физические свойства почв охарактеризованы по величинам объемной массы, полевой влажности и запасов влаги (табл. 4). Известно, что от величины объемной массы (или плотности сложения) почвы зависят ее водно-воздушные, тепловые и биологические свойства. Объемная масса определяется гранулометрическим составом, содержанием органического вещества и структурным состоянием почвы.

При увеличении объемной массы почвы, а это происходит при уплотнении почвы сельскохозяйственными машинами (на пашне), при выпасе скота (на пастбищах) на суглинистых и глинистых почвах, уменьшается общая пористость и объем пор аэрации, увеличивается объем неактивных пор, в которых вода практически недоступна растениям, снижается скорость фильтрации, затрудняется распространение корней.

Серые лесные почвы (серые и темно-серые), используемые под пашню имеют большую плотность пахотного горизонта по

Таблица 4

Водно-физические свойства почв

NN разреза см	Горизонт	Глубина взятия образца,	Полевая влажность, %	Объемная масса, г/см3	Запасы влаги в слое, мм	Запасы влаги в слое 0-50см, мм
1	2	3	4	5	6	7
		Черноземы выщелоченные и оподзоленные				
71Ф	Апах	0 - 10	57,21	0,87	49,8	
	Апах	10 - 20	29,23	1,10	32,1	
	А1	20 - 28	29,60	1,25	35,5	
	В	40 - 50	23,54	1,23	28,9	175,0
	В	50 - 60	22,32	1,25	27,9	
10Ф	Апах	0 - 10	26,65	0,91	24,2	
	Апах	10 - 20	34,46	0,94	32,4	
	А1	20 - 32	29,34	1,16	40,8	
	В1	32 - 50	21,53	1,24	48,0	145,4
	В2	50 - 60	19,57	1,37	26,8	
	ВС	70 - 80	18,56	1,54	28,6	
211Ф	Апах	0 - 10	16,45	0,96	15,8	
	Апах	10 - 20	29,95	0,91	27,3	
	Апах	20 - 27	30,55	1,07	22,9	
	А1	27 - 43	31,77	1,06	53,9	
	АВ	43 - 54	28,07	1,09	33,6	141,2
	В	60 - 70	23,69	1,29	30,6	
	ВС	92 -100	24,64	1,31	25,8	
		Лугово-черноземная				
21Ф	А1	0 - 10	39,35	1,15	45,2	
	А1	10 - 20	37,79	1,22	46,1	
	А1	20 - 30	33,46	1,30	43,5	
	А1	30 - 40	31,49	1,34	42,2	
	А1	40 - 49	34,15	1,27	39,0	217,0
	АВСа	49 - 60	33,02	1,35	49,0	
	ВСа	62 - 70	31,97	1,33	34,4	

(продолжение таблицы 4)

1	2	3	4	5	6	7
		Темно-серые и серые лесные пахотные				
11Ф	Апах	0 - 10	28,78	1,07	30,8	
	Апах	10 - 24	35,22	1,25	61,6	
	АВ	24 - 40	28,48	1,35	57,7	
	В	40 - 50	24,94	1,47	36,7	186,8
181Ф	Апах	0 - 10	25,24	1,21	30,5	
	Апах	10 - 18	25,24	1,21	24,4	
	А1	18 - 29	24,31	1,36	36,4	
	В	29 - 40	20,61	1,36	30,8	
	В	40 - 50	20,68	1,42	29,4	151,5
201Ф	Апах	0 - 10	49,78	1,00	49,7	
	Апах	10 - 19	27,01	1,24	30,1	
	Апах	19 - 26	27,96	1,20	23,5	
	В	30 - 40	22,35	1,36	30,4	
	В	40 - 50	21,94	1,31	28,7	162,1
		Целинные серые лесные почвы				
131Ф	А0	0 - 2	55,95	0,39	4,4	
	А1	2 - 10	20,08	1,28	20,5	
	А2В	10 - 20	11,74	1,50	17,6	
	А2В	20 - 33	14,25	1,55	28,7	
	В1	33 - 43	17,59	1,35	23,7	
	В1	43 - 55	18,38	1,34	29,5	112,1
	В2	55 - 64	17,27	1,60	27,6	
51Ф	А0	0 - 3	98,15	0,32	9,4	
	А1	3 - 19	36,42	0,98	25,0	
	А2В	19 - 30	16,00	1,31	23,0	
	В	30 - 50	17,90	1,52	54,4	118,8
251Ф	А0	0 - 3	169,50	0,17	8,6	
	А1	3 - 13	35,38	0,97	34,3	
	А2	13 - 23	14,40	1,73	24,9	
	В	23 - 40	22,12	1,57	24,3	
	ВСg	40 - 51	15,12	1,75	29,1	118,2
	G	51 - 60	21,69	1,61	31,4	

(окончание таблицы 4)

1	2	3	4	5	6	7
		Аллювиальные дерновые				
111Ф	Ад	0 - 4	31,70	0,97	12,3	
	A1	4 - 13	24,24	1,13	24,6	
	B	13 - 31	16,78	1,37	41,4	
	BC	31 - 40	19,32	1,41	24,5	
	BC	40 - 50	19,74	1,43	28,2	131,0
	Cg	63 - 70	21,59	1,36	20,5	
151Ф	Ад	0 - 10	51,15	0,62	32,9	
	A1	10 - 20	34,80	1,02	35,5	
	A1	20 - 30	47,34	0,86	40,7	
	A1	30 - 40	45,57	0,88	40,1	
	A1	40 - 50	41,89	0,83	34,8	184,0
	A1	80 - 90	40,85	0,84	34,3	
191Ф	Ад	0 - 4	19,11	1,16	8,9	
	A1Ca	4 - 14	16,52	1,33	22,0	
	A1Ca	14 - 24	14,32	1,44	20,6	
	A1Ca	24 - 34	16,67	1,33	22,2	
	BCa	34 - 40	4,90	1,40	4,1	
	BCa	40 - 50	4,37	1,32	5,8	83,6
Торфяно-болотная						
41Ф	T1Ca	0 - 10	145,98	0,39	56,9	
	T1Ca	10 - 20	145,98	0,39	56,9	
	T1Ca	20 - 30	182,52	0,40	73,0	
	T2Ca	30 - 35	145,22	0,46	33,4	
	T2Ca	35 - 45	226,34	0,32	72,4	
	T2Ca	42 - 50	109,91	0,59	32,4	325,0
	ATCa	50 - 90	43,35	1,25	216,7	
	CgCa	90 - 100	46,64	1,12	52,2	

сравнению с черноземами (оподзоленными и выщелоченными). В пределах пахотного горизонта она как правило увеличивается с глубиной. Однако, максимальная объемная масса в тех и других почвах наблюдается в горизонте В или ВС.

В аллювиальных почвах меньшую объемную массу имеют дерновые горизонты, с глубиной ее величина возрастает в зависимости от гранулометрического состава аллювия.

Наиболее рыхлым сложением характеризуются органогенные горизонты: подстилка (0,17—0,39г/см3) и торфяные горизонты (0,39—0,59г/см3)осушенного торфяника.

Полевая влажность в исследованных почвах определялась в интервале с 15 по 20 июля 1993г., поэтому некоторые отклонения в закономерных ее изменениях могут быть нарушены выпадающими в этот период осадками. Они имели преимущественно кратковременный характер, и можно предположить, что не играли существенной роли в перераспределении осадков по элементам рельефа. Все это дает нам основание выявить некоторые отличительные особенности содержания влаги в обследованных почвах. Практически для всех них характерно уменьшение полевой влажности с глубиной по почвенному профилю. В болотных почвах (разрез 41Ф) наблюдается отчетливое накопление влаги в водоупорном горизонте (на глубине 35—45см). Высокой полевой влажностью отличаются лесные подстилки серых лесных почв (разрезы 51Ф, 131Ф, 251Ф).

Наименьшая полевая влажность соответствует пахотным почвам, где она редко превышает 30%. Как правило, нижняя часть пахотного слоя (10—25см) отличается более высокой влажностью. Лесные почвы, вследствие десукции влаги корневыми системами древесных растений, характеризуются минимальной влажностью (от 16 до 21%) на глубине 0—50см. В аллювиальных почвах максимальная полевая влажность наблюдается в маломощном дерновом горизонте.

Запасы влаги (табл. 4) зависят от типа почвы, гранулометрического состава и характера ее использования. Исходя из имеющихся данных можно сделать вывод что наименьшими запасами влаги в 50 — сантиметровом слое отличаются целинные лесные почвы а наибольшими — торфяно-болотные. Наиболее контрастные колебания запасов влаги (от 83 до 184 мм) обнаружены в аллювиальных дерновых почвах. Среди черноземных почв наибольшими запасами (217 мм) отличаются лугово-черноземные почвы. Можно считать также, что серые лесные пахотные почвы характеризуются более высокими запасами влаги, чем черноземы. Однако колебания запасов влаги в корнеобитаемом слое в значительной степени зависят от возделываемой сельскохозяйственной культуры.

4.2 Валовой химический состав

Валовой химический состав ряда изученных почв охарактеризован по содержанию основных макроэлементов — кремния, алюминия, железа, кальция и магния, от количества которых зависит состав соответствующих коллоидов, адсорбция тех или иных элементов. Известно, что коллоиды железа и двуокиси кремния адсорбируют анионы фосфора и являются неизотопными носителями для целого ряда микроколичеств гидролизующихся радионуклидов, кальций и магний являются химическими аналогами стронция (Полынов, 1956; Kalbasi et al., 1978).

Данные (табл. 5, разрезы 9Ф, 13Ф, 61Ф), характеризующие черноземы обследованной территории, указывают на слабую дифференциацию почвенной толщи по валовому содержанию SiO^2, количество которой составляет около 60—65%. Железо и алюминий обнаруживают перемещение вниз по профилю и накопление в иллювиальном горизонте. Они отличаются невысоким содержанием кальция, количество которого резко возрастает в карбонатных горизонтах. Кроме того в последних кальций резко превалирует над магнием, тогда как в вышележащей толще содержание магния равно или несколько превышает количество кальция.

В лугово-черноземной почве (разрез 1Ф) биогенные горизонты (8—20 см) отличаются некоторым уменьшением содержания SiO^2 и небольшим накоплением кальция. Содержание железа стабильно по профилю и, очевидно, его роль здесь достаточно велика, так как его количество почти равно содержанию алюминия. Последний подвержен некоторому выносу из верхних горизонтов в нижние и накоплению на глубине 40—57 см.

Серая лесная почва (разрез 4Ф) имеет несколько иной вещественный состав. В частности в ней уменьшается роль кальция и возрастает содержание алюминия. Элювиально-иллювиальная дифференциация профиля здесь практически не выражена. Лишь алюминий подвергается слабому выносу из верхних горизонтов в нижние.

Серая лесная глеевая почва западины под березовым колком (разрез 7Ф) характеризуется высоким накоплением кальция в подстилке. Элювиальная толща здесь довольно мощная, из нее выносится железо, алюминий, кальций, магний, то есть профиль этой почвы характеризуется сильной дифференциацией, обязанной процессам оглеения.

Серая лесная глубинно-глеевая почва (разрез 10Ф) отличается повышением содержания железа, алюминия и магния в нижних горизонтах (на глубине 90—115 см). Почвообразующая порода, судя по увеличению содержания кальция (5.3%), испытывает влияние карбонатов.

Таблица 5

Валовой химический состав почв

NN раз резов	Место положе-ние, почва	Гори-зонт	Глубина взятия образца, см	% на сухую навеску SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	M_gO
1	2	3	4	5	6	7	8	9
9Ф	оз.Червяное	Апах	0 -8	64.4	9.1	10.2	1.1	1.9
	Чернозем	Апах	8 - 16	58.1	9.0	10.2	1.2	1.9
	средневы-	Апах	16 - 24	59.3	9.1	10.2	1.1	1.9
	щелоченный	Апах	24 - 30	59.3	9.2	10.2	1.1	2.0
		А1	30 - 34	60.0	9.2	10.2	1.2	2.0
		В1	34 - 44	59.4	10.2	12.0	0.9	2.6
		В1	44 - 57	60.1	9.9	12.0	1.0	2.5
		В2	65 - 75	60.3	9.1	10.2	2.7	2.2
		ВСса	85 - 95	59.3	7.3	5.8	5.1	2.0
		Сса	100 -117	59.4	7.4	8.0	6.6	2.0
13Ф	с. Беловодье	Апах	0 -8	60.6	4.4	5.6	1.4	1.6
	Чернозем	Апах	8 - 16	60.4	4.4	6.4	1.3	1.6
	слабо-	Апах	16 - 25	60.8	4.4	7.2	1.3	1.6
	выщело-	А1	25 - 35	62.5	6.2	11.0	1.0	2.2
	ченный	АВ	35 - 45	60.9	6.9	10.8	1.0	2.6
		Вса	45 - 55	59.9	6.0	6.6	5.9	2.8
		Вса	80 - 90	48.8	4.3	6.4	11.6	2.4
		ВСса	105 -115	56.3	5.9	8.4	6.4	2.4
61Фс.	Клевакинское	Апах	0 -7	64.8	5.1	8.2	1.0	1.3
	Чернозем	Апах	7 - 14	65.4	7.9	8.0	1.0	1.2
		Апах	14 - 25	67.5	5.1	11.7	1.0	1.2
		А1	25 - 30	65.4	5.7	11.7	1.0	1.4
		В1	30 - 40	65.3	6.3	12.8	1.0	1.4
		В1	40 - 51	65.1	5.7	14.0	0.9	1.2
		В2са	50 - 70	67.6	3.9	14.0	2.9	0.8
		ВСса	80 - 90	66.9	4.7	14.0	2.7	0.8
		Сса	95 -105	65.1	5.9	12.9	2.4	1.1
1Ф	оз. Тыгиш	А1	0 - 10	58.7	6.1	7.2	2.6	1.9
	Лугово-	А1	10 - 20	59.4	6.1	7.2	2.2	1.8
	черноземная	А1	20 - 30	61.3	6.6	8.2	2.2	1.9

(продолжение таблицы 5)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		A1	30 - 37	60.9	6.6	8.2	2.2	1.9
		AB	40 - 50	63.6	6.1	9.2	1.9	1.8
		AB	50 - 57	63.0	6.1	9.2	1.7	1.8
		B	60 - 70	62.6	6.6	8.2	1.9	1.9
		BC	90 -100	62.5	6.6	8.2	2.1	2.0
4Ф	оз. Тыгиш	A1	0 - 10	62.1	6.9	14.1	1.0	1.8
	Серая лесная	A1	10 - 20	58.8	6.9	15.0	1.0	1.7
		A1	20 - 30	60.6	6.4	14.0	0.9	1.6
		B	30 - 40	58.8	6.3	17.0	0.7	1.8
		B	40 - 47	63.2	6.8	17.0	0.7	1.8
		BC	50 - 60	61.9	6.9	17.0	0.7	1.8
		BC	70 - 80	62.5	9.1	14.4	0.7	1.8
		C	80 - 90	63.5	6.8	14.0	0.5	1.9
7Ф	оз. Червяное	A0	0 - 3	23.8	1.9	1.4	3.0	0.5
	Серая лесная	A1	3 - 19	48.4	6.4	5.8	1.2	1.2
	элювиально-	A2g	19 - 28	66.8	2.8	3.8	0.6	0.7
	глеевая	A2Bg	28 - 51	47.8	7.7	5.8	0.6	1.3
		Bg	50 - 60	58.1	10.1	8.0	0.7	1.8
101Ф	оз. Червяное	Апах	0 - 10	62.5	6.7	10.0	1.1	1.7
	Серая лесная	Апах	10 - 20	62.5	6.9	10.0	1.1	1.8
	глубинно-	A1	20 - 31	63.1	6.4	9.0	1.0	1.6
	глеевая	B1	31 - 45	63.8	6.9	11.6	0.8	2.1
		B1	45 - 65	60.3	7.4	11.6	1.0	2.2
		B2	65 - 80	63.8	7.4	10.0	0.8	2.1
		B2g	90 -100	60.6	8.7	12.6	0.8	2.5
		BCg	105 -115	61.9	8.0	12.6	0.8	2.5
		C	120 -135	70.6	6.9	6.0	5.3	1.7
17Ф	с. Пирогово	A1	0 - 8	51.3	8.0	10.0	1.4	1.4
	Дерново-лу-	A1	8 - 17	51.3	8.0	11.6	1.3	1.6
	говая солон-	A1	17 - 26	51.3	8.3	11.6	1.1	1.6
	цеватая	AB	26 - 36	51.4	10.2	11.6	1.0	1.9
		AB	40 - 50	46.3	10.6	13.2	4.0	1.7
		B1Ca	60 - 70	30.0	10.7	9.0	12.8	1.3
		B2	75 - 85	45.0	8.0	14.8	6.1	1.8
		B2	90 -100	47.5	10.6	16.4	6.0	1.4
		BC	102 -110	50.6	6.3	17.6	5.0	1.5

Дерново-луговая солонцеватая почва (разрез 17Ф) отличается низким содержанием SiO^2. Профиль ее очень неоднороден по своему строению — разделен на две части — бескарбонатную (до глубины 40—50 см) и карбонатную нижележащую толщу, в пределах которой на глубине 60—70 см проходит карбонатный барьер. Из аккумулятивных горизонтов выносится железо и несколько слабее алюминий.

Итак, исходя из данных валового химического состава, можно считать, что наиболее благоприятные условия для вертикальной миграции веществ складываются в элювиально-глеевых почвах. Почти повсеместно во всех изученных почвах образуется на разной глубине щелочно-карбонатный барьер. Сравнительно высокое накопление валового кальция наблюдается в лугово-черноземных почвах, а в пахотных почвах его почти в 2 раза меньше. Отличаются эти почвы высоким содержанием магния, часто превышающим количество кальция.

4.3 Агрохимическая характеристика почв

Разнообразие условий почвообразования определило неоднородность свойств изученных почв. Достаточно сказать, что реакция среды (pHсол.) колеблется в них от сильно кислой до щелочной. Резко отличаются сравниваемые почвы по характеру профильного изменения величины pH. В одних случаях наблюдается резкое их подкисление с глубиной, в других — подщелачивание. В некоторых почвах наблюдается незначительное колебание величины pH по горизонтам почвенного профиля.

Поскольку почвы с разным уровнем плодородия имеют неодинаковую буферную способность, и как следствие возможность противостоять воздействию всякого рода загрязнителей, то изучение физико-химических свойств приобретает особое значение. Практические рекомендации по реабилитации почвенного покрова должны быть дифференцированы с их учетом.

4.3.1 Лесные почвы

Почвы, занятые лесом, представлены как светло-серыми с содержанием гумуса в А1 3.67—3,93% (разрезы 13Ф и 51Ф, табл. 6), так и темно-серыми подтипами с содержанием гумуса в А1 10,31 (разрез 81Ф) и 12,06% (разрез 251Ф). Подстилки слабокислые (pH=5,6—6,1) и гумусовый горизонт кислый (pH=4,1—4,8), вниз по профилю кислотность увеличивается, но максимум ее наблюдается как правило в элювиальном горизонте.

Лесные почвы отличает высокая гидролитическая кислотность, особенно в подстилках избыточно-увлажненных почв. Для них ха-

Таблица 6

Агрохимическая характеристика лесных почв

NN разрезов почва, местоположение	Горизонт	Глубина взятия образца, см	pH сол.	Гидролитич. кислотность	Поглощенные основания Ca^{2+}	Mg^{2+}	Сумма	Емкость катионного обмена	Степень насыщ. основаниями,%	Гумус %	С общий %	N общий, %	C/N	Подвижные формы мг/100г почвы K2O	P_2O_5	Fe_2O_3
				мг-экв./100г почвы												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
131Ф	A0	0 - 2	6,1	14,0	62,0	18,0	80,0	94,0	85	64,79*		1,34		112,7	41,2	48
Светло-серая лесная	A1	2 - 10	4,7	7,2	14,0	4,5	18,5	25,7	72	3,93	2,28	0,28	8	11,0	8,9	423
оподзоленная	A2B	10 - 20	4,0	4,2	12,5	5,5	18,0	22,2	81	0,93	0,54	0,14	4	5,5	6,9	638
(осиново-березовый лес)	A2B	20 - 33	4,0	4,9	17,0	6,0	23,0	27,9	82	0,92	0,54	0,10	5	6,7	13,1	670
Черноусово	B1	33 - 43	4,0	5,6	18,0	8,5	26,5	39,1	82	0,97	0,56	0,16	4	6,9	14,8	670
	B1	43 - 55	3,9	5,9	19,5	10,5	30,0	35,9	83	0,77	0,45	0,12	4	7,7	12,6	726
	B2	55 - 64	3,9	5,2	19,5	10,5	30,0	35,2	85	6,1	8,5	838				
	BCg	> 64	3,7	4,5	20,0	9,0	29,0	33,5	87						4,5	1125
51Ф	A0	0 - 3	6,2	11,1	60,0	22,0	82,0	93,1	88	77,24*		0,89		180,0	44,0	32
Светло-серая лесная	A1	3 - 19	4,8	6,1	15,5	5,0	20,5	26,6	77	3,67	2,13	0,27	8	9,7	4,5	702
оподзоленная (березовый лес)	A2B	19 - 30	4,4	5,2	16,5	9,0	25,5	30,7	83	1,42	0,83	0,25	3	5,2	3,8	886
Клевакинское	Bg	30 - 50	4,4	4,2	21,5	8,5	30,0	34,2	88	1,02	0,59	0,19	3	4,5	5,5	1173

(продолжение таблицы 6)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
11Ф	A0	0 - 3	5.6	9.8	62.0	24.0	86.0	95.8	90	86.22*	36.74	2.24	-	240.1	54.6	0
Серая лесная	A0A1	3 - 12	5.1	17.9	54.0	16.0	70.0	87.9	80	не опр	29.67	1.00	-	187.5	18.9	200
элювиально	A1	12 - 22	4.2	16.1	11.0	9.0	20.0	36.1	55	7.72	4.48	0.62	7	40.0	1.1	1134
глеевая	A2g	22 - 30	4.1	7.0	4.5	3.5	8.0	15.0	53	2.03	1.18	0.22	7	32.5	2.5	511
(осиново-	Bg	30 - 40	4.5	4.7	8.0	6.5	14.5	19.2	75	1.05	0.61					1062
березовый	Bg	40 - 55	4.5	4.9	8.5	9.0	17.5	22.4	78	1.15	0.67					1341
колок, южный																
берег оз.)																
Червяное																
7Ф	A0	0 - 3	5.9	12.6	48.0	20.0	68.0	80.6	84	68.52*	2.08	161.7			71.4	176
Темно-серая	A1	3 - 19	4.5	18.2	22.5	7.5	30.0	48.2	62	13.41	7.78	0.68	11	33.1	6.3	822
лесная элю-	A2g	19 - 28	4.1	3.2	3.0	1.5	4.5	7.7	58					15.2	9.7	168
виально гле-	A2Bg	28 - 51	4.4	3.3	6.5	3.5	10.0	13.3	75							1309
евая (за-																
падина)																
оз.Червяное																
81Ф	A0	0 - 9	5,7	4,6	60,0	16,0	76,0	80,6	94	65,26*		1,72		103,8	41,2	79
Темно-серая	A1	9 - 20	4,1	20,3	18,0	7,0	25,0	45,3	55	10,31	5,98	0,63	10	22,8	2,3	934
лесная элю-	A2	21 - 35	4,1	4,4	4,0	1,5	5,5	9,9	55	0,68	0,40	0,15	3	5,5	1,3	950
виально гле-	Bg	35 - 50	4,3	5,9	15,0	7,5	22,5	28,4	79	0,87	0,51	0,07	7	14,3	1,5	718
евая (бере-																
зово-осино-																
вый колок)																
Мухлынина																

(окончание таблицы 6)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
251Ф	A0	0 - 3	5,1	32,8	44,0	18,0	62,0	94,8	65	85,67*		1,16		104,6	39,2	95
Темно-серая	A1	3 - 13	5,1	11,9	19,0	12,0	31,0	42,9	72	12,06	7,00	0,45	16	25,2	4,1	878
лесная опод-	A2	13 - 23	4,2	3,7	3,0	4,5	7,5	11,2	67	0,53	0,31	0,15	2	3,4	0,8	654
золенная	B	23 - 40	4,3	5,1	6,0	4,5	10,5	15,6	67	1,16	0,67	0,12	6	7,4	0,4	758
глееватая	BCg	40 - 51	4,7	3,5	7,5	7,5	15,0	18,5	81	0,98	0,57	0,10	6	8,6	0,3	854
(сосново-бе-	C	51 - 60	4,8	2,5	12,5	9,0	21,5	24,0	90	9,7	0,2	175				
резовый лес)																
Черемхово																

*) - потеря при прокаливании

рактерно высокое биогенное накопление обменных кальция и магния, по содержанию которых отчетливо обособляется элювиальный горизонт, где суммарное количество кальция и магния составляет лишь 5—7 мг-экв/100г почвы. Емкость катионного обмена высокая в подстилках и резко уменьшается с глубиной. Степень насыщенности основаниями выше в более дренируемых почвах.

Содержание гумуса в горизонте А1 светло-серых почв составляет около 4%, в серых — около 7% и в темно-серых — 10—13%. Повсеместно с глубиной количество гумуса резко падает и имеет место иллювиальное его накопление (разрез 251Ф).

Светло-серые лесные почвы отличаются более сильной степенью разложения органического вещества (C:N в А1 составляет около 8) по сравнению с темно-серыми лесными почвами (C:N=10—15).

Определение содержания железа в почвах представляет интерес с разных точек зрения. Как элемент с переменной валентностью, он подвижен в восстановительной среде и инертен — в окислительной, а, следовательно, определяет миграцию ряда химических элементов. Если двухвалентные (закисные) формы железа, особенно при больших концентрациях, являются токсичными для растений, то его окисленные формы являются неотъемлимой частью питания растений и обеспечивают более высокое их биологическое качество. Данные, приведенные в таблице 6, показывают, что содержание подвижного железа колеблется в больших пределах как между сравниваемыми почвами, так и в пределах почвенного профиля. Он, в случае грунтового переувлажнения расчленяется на две части: верхнюю, где преобладает окислительный режим, и нижнюю — с восстановительным режимом. При поверхностном переувлажнении содержание подвижного железа больше в верхней части профиля. Зона перехода окислительных процессов в восстановительные может быть геохимическим барьером для поступающих в почву загрязняющих веществ.

4.3.2 Пахотные почвы

В пахотном фонде лесостепного Зауралья доминируют черноземы, которые значительно различаются по агрохимическим свойствам. Достаточно сказать, что содержание гумуса в них колеблется от 5 до 13% (табл. 7) Более высокое его количество соответствует олуговелым старопахотным почвам под многолетними травами (разрезы 1А, 161Ф).

Величина pH также колеблется значительно: в пахотном горизонте, например, от 5.1 до 7.2. Внутрипрофильное изменение этого показателя определяется содержанием карбонатов в почвах.

Таблица 7

Агрохимическая характеристика почв агроценозов

NN разрезов почва, местоположение	Горизонт	Глубина взятия образца, см	pH сол.	Гидролитич. кислотность	Поглощенные основания Ca^{2+}	Mg^{2+}	Сумма	Емкость катионного обмена	Степень насыщ. основаниями,%	Гумус %	C общий %	N общий %	C/N	Подвижные формы мг/100г почвы K2O	P_2O_5	Fe_2O_3
					мг-экв./100г почвы											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
131Ф	Апах	0 - 8	6.0	4.2	23.0	8.0	31.0	35.2	88	9.02	5.23	0.54	9	43.8	21.5	367
Чернозем вы-	Апах	8 - 16	6.3	3.3	25.0	17.0	42.0	45.3	93	8.61	4.99	0.52	9	35.0	18.5	343
щелоченный	Апах	16 - 25	6.0	3.0	24.0	22.0	46.0	49.0	94	8.54	4.86	0.48	10	24.0	17.5	343
Черноусово	A1	25 - 35	6.5	0.5	11.4	25.0	36.4	39.6	99	1.47	0.85			9.8	2.3	347
	AB	35 - 45	7.0	16.0	25.0	41.0				1.40	0.81			11.3	1.5	224
	BCa	45 - 55	7.8		9.6**	17.6	27.2			0.75	0.43					168
					10.4											
9Ф	Апах	0 - 8	5.1	5.6	24.0	9.0	33.0	38.6	85	5.17	2.99	0.43	7	23.0	11.6	367
Чернозем вы-	Апах	8 - 16	5.2	5.6	21.0	11.0	32.0	37.6	85	5.38	3.12	0.37	8	18.6	9.7	359
щелоченный	Апах	16 - 23	5.3	5.3	27.0	6.0	33.0	38.3	86	5.02	2.91	0.44	7	19.1	9.9	391
оз.Червяное	Апах	23 - 30	5.2	5.3	24.0	10.0	34.0	39.3	86	5.04	2.93	0.29	10	16.7	8.0	407
	A1	30 - 34	5.1	5.6	25.0	9.0	34.0	39.6	86	4.54	2.64	0.35	7	10.8	6.5	431
	B1	34 - 44	4.9	3.3	20.5	5.5	26.0	29.3	89	1.21	0.70			11.9	10.3	403
	B1	44 - 57	5.5	2.5	19.0	6.5	25.5	28.0	91	0.90	0.52			11.3	10.9	423

(продолжение таблицы 7)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	$B2_{Ca}$	65 - 75	7.2		22,5** / 6.7	5.6	28.1									447
	BCCa	85 - 95	7.2		15,5** / 8.1	3.2	18.7									391
	CCa	100 -107	7.2		15,1** / 8.9	3.2	18.3									339
3А	Апах	0 - 9	6,5	3,5	23,0	23,0	46,0	49,5	93	8,30	4,81	0,47	10	21,5	13,9	175
Чернозем	Апах	9 - 18	6,7	2,5	26,0	16,0	42,0	44,5	95	8,73	5,06	0,59	9	20,2	14,0	183
оподзоленный	А1	18 - 30	6,2	3,5	22,5	16,5	39,0	42,5	92	7,25	4,20	0,42	10	7,8	9,3	215
Черемхово	АВ	30 - 39	6,0	2,8	20,5	11,0	31,5	34,3	92	4,34	2,52	0,30	8	5,9	5,2	207
	АВ	39 - 50	6,2	2,3	22,0	7,5	29,5	31,8	93	3,26	1,89	0,43	4	6,1	4,7	223
	В	50 - 58	5,7	1,9	11,0	10,5	21,5	23,4	92					6,1	4,7	239
71Ф	Апах	0 - 10	7,2	1,3	44,0	8,0	52,0	53,3	97	не опр.	-	0,74	-	33,3	13,1	231
Чернозем	Апах	10 - 20	7,0	1,6	31,0	9,5	40,5	42,1	96	6,03	3,50	0,47	7	18,2	13,8	270
оподзоленный	А1	20 - 28	6,1	3,5	29,0	9,5	38,5	42,0	92	6,15	3,57	0,33	11	17,1	5,4	279
Мухлынина	А1	28 - 37	5,6	5,2	28,5	7,0	35,5	40,7	87	6,12	3,55	0,33	11	8,8	4,3	303
	В	40 - 50	5,2	3,7	25,5	6,0	31,5	35,2	89	1,86	1,08	0,17	6	8,6	3,1	399
	В	50 - 60	5,8	3,2	25,0	7,5	32,5	35,7	91					8,6	2,6	375
1А	Ад	0 - 3	5,7	8,8	26,0	42,0	64,0	72,8	88	13,65	7,92	0,72	11	26,2	22,5	207
Чернозем	А1	3 - 10	6,3	4,2	37,5	7,5	45,0	49,2	91	10,42	6,47	0,59	11	6,0	9,1	247
олуговелый	А1	10 - 20	7,1	1,8	43,0	9,0	52,0	53,8	97	11,31	6,56	0,53	12	6,9	5,8	271

(продолжение таблицы 7)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Клевакинское	А1	20 - 30	7,2	1,1	37,5	11,5	49,0	50,1	98	9,73	5,64	0,48	12	6,4	6,2	287
	А1	30 - 40	6,9	1,4	32,5	9,5	42,0	43,4	97	6,78	3,93	0,36	11	6,4	5,5	231
	А1	40 - 50	6,2	1,4	31,5	6,5	38,0	39,4	96	5,77	3,35	0,34	10	6,2	5,5	199
	А1	50 - 60	6,6	1,4	28,0	10,5	38,5	39,9	96					6,4	5,9	239
	А1	60 - 70	6,7	1,4	27,0	12,0	39,0	40,4	96					6,4	4,9	239
	В	74 - 80	6,9	1,2	22,0	6,0	28,0	29,2	96					6,4	5,6	270
161Ф	Ад	0 - 7	5,8	9,8	54,0	16,0	70,0	79,8	88	13,84	8,03	0,73	11	131,1	29,9	183
Чернозем	А1'	7 - 20	6,6	3,7	35,5	9,5	45,0	48,7	92	11,20	6,50	0,59	11	112,2	15,9	287
олуговелый	А1"	20 - 30	6,3	4,9	26,5	14,5	41,0	45,9	89	7,63	4,42	0,41	11	182,2	15,1	191
старопахотный	А1"	30 - 40	5,8	8,4	17,5	12,0	29,5	37,9	78	6,59	3,82	0,35	11	136,6	16,3	144
Черемхово	АВ	40 - 50	4,2	9,6	7,0	9,0	16,0	25,6	62	2,02	1,17	0,18	7	173,0	14,6	191
	В	60 - 70	3,8	8,8	11,0	6,5	17,5	26,3	66					129,7	10,4	191
1Ф	А1	0 - 10	5.0	7.0	27.5	12.5	40.0	47.0	85	6.24	3.62	0.61	6	36.9	19.5	503
Лугово-	А1	10 - 20	5.5	5.3	25.0	10.0	35.0	40.3	87	6.17	3.58	0.33	11	21.6	22.5	471
черноземная	А1	20 - 30	6.0	3.5	22.0	15.0	37.5	41.0	91	2.80	1.62	0.32	5	31.3	21.5.	611
оз. Тыгиш	А1	30 - 37	5.6	3.2	22.5	12.5	35.0	38.2	92	2.45	1.42	0.23	6	35.6	17.5	583
	АВ	40 - 50	5.6	2.8	22.5	10.0	32.5	35.3	92	2.01	1.17	0.12	10	36.3	19.5	563
	АВ	50 - 57	5.7	1.8	22.5	7.5	30.0	31.8	94	1.02	0.59			28.8	21.5	687
	В	60 - 70	5.6	1.4	25.0	7.5	32.5	33.9	96							938
	ВС	90 -100	5.7	1.4	25.0	10.0	35.0	36.4	96							1038

(продолжение таблицы 7)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10Ф	Апах	0 - 10	5.2	4.2	22.0	10.0	32.0	36.2	88	4.06	2.36	0.33	7	13.7	15.5	487
Темно-серая	Апах	10 - 20	5.3	4.2	20.5	10.0	30.5	34.7	88	4.05	2.35	0.25	9	14.2	11.6	451
лесная глуби-	Апах	20 - 31	5.3	4.2	19.5	10.5	30.0	34.2	88	3.96	2.30	0.37	7	14.2	9.5	471
нно-глеевая	B1	31 - 45	4.9	3.0	19.0	8.0	27.0	30.0	90	0.95	0.55			10.8	8.8	639
оз. Червяное	B1	45 - 65	4.8	2.5	20.0	9.0	29.0	31.5	92	0.75	0.43			11.9	9.0	866
	B2	65 - 80	4.4	2.5	18.0	10.5	28.5	31.0	95							1222
	B2	90 -100	4.2	2.5	24.5	10.5	35.0	37.5	93							1844
	BCg	105 -115	4.3	2.1	22.0	8.0	30.0	32.1	93							1501
	C	120 -135	4.3	1.6	14.5	6.0	20.5	22.1	93							1289
201Ф	Апах	0 - 10	6,5	3,2	35,5	11,5	47,0	50,2	94	5,20	3,02	0,36	8	27,1	13,2	463
Темно-серая	Апах	10 - 19	5,7	4,6	27,5	16,5	44,0	48,6	90	4,70	2,72	0,33	8	29,9	12,8	447
лесная	Апах	19 - 26	5,6	4,9	27,5	8,5	36,0	40,9	88	4,85	2,82	0,36	8	26,7	12,2	327
Черноусово	B	30 - 40	4,6	4,0	23,5	5,5	29,0	33,0	88	1,08	0,63	0,20	3	14,4	5,2	311
	B	40 - 50	5,8	2,3	25,5	6,5	32,0	34,3	93	1,12	0,65	0,17	4	9,0	6,0	303
171Ф	A1	0 - 10	5,3	5,4	18,0	11,5	29,5	34,9	84	5,44	3,15	0,30	11	11,3	6,3	239
Темно-серая	A1	10 - 25	5,4	5,3	18,5	11,5	30,0	35,3	85	4,93	2,86	0,27	11	12,0	6,8	223
лесная	B1	25 - 40	6,3	2,1	16,5	11,0	27,5	29,6	93	1,23	0,72	0,15	5	6,4	3,6	303
Черемхово	B2	40 - 50	5,7	2,2	12,0	15,0	27,0	29,2	92	0,83	0,48	0,12	4	7,2	3,9	303
	B2	70 - 80	5,2	2,4	13,0	11,5	24,5	26,9	91					7,2	4,5	311
	BC	90 -100	5,5	1,9	12,0	10,5	22,5	24,4	92					6,6	2,9	303

(окончание таблицы 7)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6Ф	Апах	0 - 7	5.7	3.3	15.0	6.5	21.5	24.8	87	2.66	1.54	0.29	5	18.1	12.2	236
Серая лесная	Апах	7 - 14	5.6	3.3	16.0	5.5	21.5	24.8	87	2.75	1.59	0.21	7	17.1	11.8	240
оз. Червяное	Апах	17 - 25	5.6	3.3	16.5	5.5	22.0	25.3	87	2.72	1.58	0.22	7	16.2	9.0	256
	Апах	25 - 30	5.5	3.2	15.0	7.5	22.5	25.7	87	1.89	1.09	0.20	5	14.2	8.0	256
	B1	30 - 40	5.5	1.8	15.5	8.0	23.5	25.3	93	0.89	0.51			9.8	6.5	256
	B1	40 - 50	5.6	1.8	15.0	7.0	22.0	23.8	92	0.49	0.29			8.8	2.9	303
	B2Ca	60 - 70	6.3	1.4	15.3** / 2.2	5.2	20.5	21.9	94	351						
	BCCa	80 - 90	7.1		17.9** / 6.7	5.6	23.5									463
	CCa	95 -105	7.2		17.4** / 7.4	3.6	21.0									511
4Ф	A1	0 - 10	5.4	6.3	20.0	5.0	25.0	31.3	80	4.01	2.33	0.35	7	12.7	10.9	279
Серая лесная	A1	10 - 20	5.4	6.3	17.5	12.5	30.0	36.3	83	4.36	2.53	0.33	7	9.8	6.5	283
под многоле-	A1	20 - 30	5.2	6.0	20.0	7.5	27.5	33.5	82	4.09	2.38	0.31	7	8.3	2.9	287
тними травами	B	33 - 40	4.3	3.9	15.0	7.5	22.5	26.5	85	1.62	0.94			6.9	2.3	395
	B	40 - 47	4.2	3.9	15.0	10.0	25.0	28.9	86	0.78	0.45			6.4	2.3	423
	BC	50 - 60	4.5	3.2	12.5	10.0	22.5	25.7	87							487
	BC	70 - 80	4.6	2.8	17.5	10.0	27.5	30.3	91							479
	C	80 - 90	4.4	3.3	15.0	10.0	25.0	28.3	88							435

**) - в числителе - поглощенный кальций
в знаменателе - кальций карбонатов

Присутствие последних резко уменьшает кислотность в нижней части почвенного профиля.

Содержание поглощенных оснований в среднем составляет в пахотном горизонте около 40 мг-экв/100 г почвы и резко возрастает в дерновых горизонтах олуговелых черноземов. Для этих почв характерна и более высокая емкость катионного обмена. В целом в рассматриваемых почвах наибольшая емкость катионного обмена наблюдается в верхней части (0—10 см) пахотного слоя.

Степень насыщенности гумуса азотом и интенсивность разложения растительных остатков (C:N) в олуговелых почвах меньше, чем в пахотных. В последний отношение C:N возрастает в нижней части пахотного слоя за счет погребения пожнивно-корневых остатков при обороте пласта. В олуговелых черноземах величина C:N стабильна по профилю.

Содержание подвижных форм фосфора и калия подвержено большим колебаниям, что определяется дозами вносимых удобрений. Основная масса фосфора и калия сконцентрирована в верхней части (до 10 см) пахотного слоя.

Что касается подвижного железа, то сравнительно низкое его содержание свидетельствует о хорошей аэрации почв в пределах всего профиля. В лугово-черноземных почвах (разрез 1Ф), принципиально не отличающихся по прочим показателям, содержание подвижного железа значительно возрастает, особенно в нижней части профиля, где доминируют восстановительные условия за счет подпора почвенно-грунтовых вод.

Темно-серые лесные пахотные почвы отличаются значительно меньшей гумусированностью и меньшей мощностью гумусового горизонта. Они формируются в довольно широком диапазоне экологических условий — от хорошо дренированных (разрезы 171Ф, 201Ф), до избыточно увлажненных глубинно-глеевых.

Серые лесные пахотные почвы — малогумусные (разрез 6Ф) и содержат значительно меньше поглощенных оснований, и следовательно имеют небольшую емкость катионного обмена. При использовании таких почв под многолетними травами в них возрастает содержание гумуса и поглощенных оснований (разрез 4Ф). Все эти почвы формируются в окислительном режиме почвообразования.

4.3.3 Луговые почвы

Агрохимическая характеристика дерново-луговых почв береговой зоны озер Тыгиш, Сунгуль, Червяное и поймы рек Исеть и Каменка приведены в таблицах 8, 10. Видно, что старопахотные почвы северо-западного берега оз. Тыгиш (разрез 9М), подвергну-

тые в свое время рекультивации имеют плохо сформированную дернину, практически не отличающуюся по агрохимическим характеристикам от нижележащего горизонта А. В целом для этого профиля отсутствует выраженная дифференциация горизонтов по агрохимическим свойствам. Лишь погребенный гумусовый горизонт содержит больше гумуса и обменных оснований по сравнению с горизонтами А и В. В дерново-луговых почвах пахотных угодий (район оз. Сунгуль, разрез 11М) имеет место резкое падение содержания гумуса при переходе от пахотного к нижележащим горизонтам. Содержание обменного кальция в пахотном горизонте 37 мг-экв/100 г почвы, что значительно выше, чем в других разрезах, очевидно вследствие известкования. Оно несколько снижается с глубиной, но остается довольно высоким даже в горизонте С. Величина pH почвенного раствора по всему профилю близка к нейтральным значениям. В профиле старопахотных почв, расположенных в районе оз Червяное (разрез 12М), величина pH водной вытяжки варьирует в пределах 6.2—6.9. Сумма поглощенных оснований в генетических горизонтах составляет 34—40 мг-экв./100 г почвы, из них на долю поглощенного натрия приходится 1—1.5%. В целом данные агрохимического анализа выявляют довольно близкую сходимость химических характеристик обследуемых почв гидроморфного ряда.

Почвы обследованного участка центральной поймы реки Исеть (разрез 2М) характеризуются слабощелочными значениями pH водной вытяжки. Высокое содержание гумуса обнаружено лишь в горизонте Ад и с глубиной его количество резко убывает (табл. 9). Они отличаются высоким содержанием обменных оснований. В верхних горизонтах количество кальция более, чем в 2 раза превышает содержание магния, тогда как в нижней части профиля роль последнего в составе обменных оснований возрастает. Здесь несколько шире, чем в рассмотренных выше почвах представлен обменный и водорастворимый натрий.

Почвы наиболее динамичного участка ландшафта — прирусловой поймы (разрез 1М) — отличает низкая степень насыщенности поглощающего комплекса обменными катионами и снижение их содержания, а также количества гумуса с глубиной.

Пойменные почвы р. Каменка (табл. 10) также имеют слабощелочную реакцию. С глубиной по профилю щелочность усиливается, так как многие из них испытывают влияние карбонатов. Дерновые горизонты отличаются высоким накоплением обменных кальция и магния и насыщенностью основаниями 97—99%. Содержание гумуса колеблется в больших пределах. Резкая убыль его количества наблюдается в пахотных пойменных почвах и здесь уменьшается величина отношения C:N.

Дерновые горизонты характеризуются высоким накоплением калия и фосфора, последний иногда превалирует над калием. По содержанию железа профиль таких почв расчленяется на окислительные и окислительно-восстановительные зоны, в связи с изменением гранулометрического состава пойменных отложений и условий поемности. В целом дренированность этих почв ниже, чем пахотных.

Дерново-луговые почвы суходольных лугов характеризуются щелочной реакцией (особенно солонцеватые их разновидности) и высоким уровнем залегания карбонатов (табл. 11). Все они насыщены основаниями. Отличаются низким содержанием подвижных форм фосфора и калия. Содержание подвижного железа выше в солонцеватых почвах, формирующихся в понижениях рельефа.

Торфяно-болотная почва осушенная карбонатна с поверхности, очевидно, за счет поступления карбонатов с высоких элементов рельефа. Торфяная толща неоднородна по свойствам. Потеря от прокаливания, например, изменяется в разных слоях торфа от 44 до 76%, pH — от 7.5 до 5.6, емкость катионного обмена от 74 до 104 мг-экв./100 г почвы, содержание подвижного железа от 323 до 973 мг/100 г почвы. Из этого следует, что слой 0—10 см сильно переосушен, и застойные явления влаги наблюдаются на глубине 20—30 см.

Таблица 8

Агрохимическая характеристика дерново-луговых почв береговой зоны озер

NN разрезов, место-положение	Гори-зонт	Глубина взятия образца, см	pH водн	Гумус, %	Обменные катионы, мг-экв./100 г почвы				Химический состав водной вытяжки, мг/100 г почвы						
					Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$SO4^{2-}$	K^{+}	Na+
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
9М	$А_д$	0 - 5	6.1	8.1	19.2	8.4	0.4	0.2	16.8	34.3	5.5	3.1	2.1	4.1	3.7
Северо-запа-	А	5 - 23	6.5	5.5	20.8	7.5	0.2	0.4	15.5	28.5	6.2	4.5	2.2	1.2	3.2
дная часть	В	23 - 48	6.8	3.5	20.4	8.0	0.2	0.3	16.5	24.0	4.8	1.7	0.9	0.8	5.1
оз. Тыгиш	$А_{погр}$	48 -109	6.5	6.9	25.6	9.9	0.5	0.4	21.1	35.9	9.0	3.5	0.9	4.1	6.8
11М	$А_{пах}$	0 - 25	7.2	5.7	37.3	13.7	0.2	0.5	24.2	25.8	8.0	3.1	1.0	1.4	3.8
Северная око-	АВ	25 - 35	6.9	2.0	30.2	12.0	0.2	0.2	13.9	26.6	6.5	1.5	1.3	0.8	2.5
нечность оз.	В	35 - 45	6.9	0.4	22 8	6.8	0.2	0.2	13.9	24.2	5.0	2.7	1.5	1.0	2.2
Б.Сунгуль	С	45 - 75	6.7	0.2	22.0	10.0	0.2	0.3	15.6	25.7	4.4	3.0	1.0	2.0	
с.Четыркино															
12М	$А_д$	0 - 5	6.2	7.4	24.4	14.4	0.6	0.6	12.4	32.7	5.1	2.0	0.7	2.3	2.7
Северо-восто-	А	5 - 23	6.5	5.8	26.6	11.8	0.3	0.4	13.5	28.4	4.3	2.5	1.2	0.9	3.8
чная часть	АВ	23 - 34	6.9	3.9	28.0	9.7	0.3	0.5	18.0	34.6	4.4	3.4	1.4	1.3	5.0
оз.Червяное	В	34 - 61	6.7	1.2	24.2	11.8	0.3	0.6	10.8	25.6	4.5	2.0	1.2	0.8	5.0
с.Рыбниково															

Таблица 9

Агрохимическая характеристика почв поймы реки Исеть

NN разрезов, местопо-ложение	Гори-зонт	Глубина взятия образца, см	pH водн.	Гумус, %	Обменные катионы, мг-экв./100 г почвы				Химический состав водной вытяжки, мг/100 г почвы						
					Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	HCO_3^{-}	Cl^{-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	K^{+}	Na+
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2M	Ад	0 - 5	7.2	8.8	35.6	17.1	0.3	0.8	19.9	28.7	6.0	9.0	1.8	2.4	5.4
	A	5 - 10	7.3	2.4	31.2	11.2	0.2	0.6	29.8	30.5	9.0	5.7	1.3	1.7	6.3
	AB	10 - 25	7.6	1.7	28.2	11.0	0.2	0.6	30.5	27.7	9.5	3.1	1.0	1.5	5.5
	B	25 - 40	7.3	1.5	29.6	19.9	0.2	0.7	32.4	27.3	9.7	4.2	1.7	1.5	5.9
	BC	40 - 56	7.5	0.6	39.6	27.6	0.3	0.8	35.1	24.9	9.5	4.5	1.9	1.5	6.4
	C	56 - 69	7.6	0.2	32.4	24.4	0.2	0.5	33.6	23.8	10.0	3.3	1.1	1.5	8.2
1M	Ад	0 - 5	6.1	8.4	13.2	6.0	0.2	0.4	8.4	23.5	7.5	2.1	1.3	1.3	1.3
	AB	5 - 20	6.4	1.7	9.8	4.5	0.3	0.4	10.9	25.4	8.2	2.1	1.2	1.0	5.4
	B	20 - 40	6.7	0.9	6.4	3.1	0.3	0.4	12.3	27.0	5.5	1.1	0.6	0.9	3.4
	C	40 и >	7.0	0.2	7.2	2.3	0.3	0.4	14.5	26.3	5.5	1.1	0.6	0.9	4.0

Таблица 10

Агрохимическая характеристика почв поймы реки Каменка

NN разрезов почва, местоположение	Горизонт	Глубина взятия образца, см	pH сол.	Гидролитич. кислотность	Поглощенные основания Ca^{2+}	Mg^{2+}	Сумма	Емкость катионного обмена	Степень насыщ. основаниями,%	Гумус %	C общий %	N общий %	C/N	Подвижные формы мг/100г почвы K2O	P_2O_5	Fe_2O_3
				мг-экв./100г почвы												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
151Ф	Ад	0 - 10	7,0	2,1	36,0	28,0	64,0	66,1	97	11,55	6,70	0,75	12	17,9	31,9	447
	A1	10 - 20	7,4	0,5	19,2** / 12,8	22,0	54,0	54,5	99	7,83	4,54	0,50	9	3,2	1,4	614
	A1	20 - 30	7,6	0,4	24,8** / 10,4	18,8	57,6	58,0	99	7,45	4,32	0,50	9	1,5	1,0	638
	A1	30 - 40	7,5	0,4	28,8** / 10,4	20,4	59,6	60,0	99	5,90	3,42	0,39	9	1,2	1,1	662
	A1	40 - 50	7,5	0,5	28,0** / 9,6	19,6	57,2	57,7	99	5,16	2,99	0,35	9	1,4	1,3	694
	A1	80 - 90	7,4	0,5	30,4** / 8,8	18,0	57,2	57,7	99					1,4	0,6	734
191Ф	Ад	0 - 4	7,1	1,4	16,0	12,0	28,0	29,4	95	5,22	3,03	0,30	10	45,8	25,8	439
	$A1_{Ca}$	4 - 14	7,4	0,9	14,0	12,5	26,5	27,4	97	4,31	2,50	0,24	10	19,4	13,8	495
	$A1_{Ca}$	14 - 24	7,5	0,5	14,0	13,0	27,0	27,5	98	2,29	1,33	0,24	6	14,7	13,3	622
	$A1_{Ca}$	24 - 34	7,4	0,5	27,0	10,0	37,0	37,5	99	5,05	2,93	0,21	14	5,8	9,9	646
	B_{Ca}	34 - 40	7,5	0,4	1,0	7,5	8,5	8,9	95	0,46	0,27	0,10	3	3,5	11,0	359
	B_{Ca}	40 - 50	7,5	0,2	1,0	7,5	8,5	8,7	98	0,40	0,23	0,10	2	4,1	9,3	359

(окончание таблицы 10)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
111Ф	Ад	0 - 4	7,0	1,2	34,5	6,5	41,0	42,2	97	9,65	5,60	0,49	11	23,8	16,1	622
	A1	4 - 13	7,3	1,1	33,5	6,0	39,5	40,6	97	6,70	3,88	0,34	11	12,3	11,7	622
	B	13 - 31	7,5	0,5	19,0	5,0	24,0	24,5	98	2,07	1,20	0,24	5	7,3	5,9	511
	BC	31 - 40	7,6	0,5	15,5	4,5	20,0	20,5	98	1,48	0,86	0,19	5	5,5	1,6	431
	BC	40 - 50	7,6	0,7	17,0	5,5	22,5	23,2	97	1,05	0,61	0,17	4	4,6	4,1	503
	Cg	63 - 70	7,6	0,7	17,5	6,5	24,0	24,7	97					4,3	3,8	710
241Ф	$A_{пах}$	0 - 10	7,4	0,5	12,4** / 7,2	10,4	30,0	30,5	98	2,74	1,59	0,25	6	9,0	16,5	614
	$A_{пах}$	10 - 20	7,4	0,5	9,2** / 7,2	18,0	34,4	34,9	99	2,71	1,57	0,27	6	8,8	14,4	614
	A1	20 - 30	7,5	0,7	8,4** / 11,2	10,4	30,0	30,7	98	2,74	1,59	0,20	8	8,6	11,5	598
	A1	30 - 40	7,5	0,5	11,6** / 8,8	9,6	30,0	30,5	98	2,26	1,31	0,25	5	6,8	12,0	654
	A1	40 - 50	7,6	0,4	10,8** / 9,6	11,2	31,6	32,0	99	2,04	1,18	0,22	5	2,9	0,5	718
	A1	50 - 60	7,6	0,4	15,2** / 9.6	8,4	33,2	33,6	99					3,6	0,5	758

**) - в числителе - поглощенный кальций
в знаменателе - кальций карбонатов

Таблица 11

Агрохимическая характеристика дерново-луговых почв суходольных лугов и торфяно-болотных почв

NN разрезов	Горизонт	Глубина взятия образца, см	pH сол.	Гидролитич. кислотность	Поглощенные основания Ca^{2+}	Mg^{2+}	Сумма	Емкость катионного обмена	Степень насыщ. основани-	Гумус %	С общий %	N общий %	C/N	Подвижные формы мг/100г почвы K2O	P_2O_5	Fe_2O_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
					Дерново-луговая											
3Ф	A1g	0 - 10	7,5	0,9	25,0	9,5	34,5	35,4	97	9,38	5,44	0,48	11	1,0	0,3	183
	A1g	10 - 20	7,6	0,7	25,5	4,5	30,0	30,7	98	11,25	6,53	0,36	18	0,8	0,3	430
	A1g	30 - 40	7,5	0,7	29,5	5,5	35,0	35,7	98	10,85	6,29	0,51	12	0,8	0,3	400
	A1	30 - 40	7,4	0,7	31,5	4,0	35,5	36,2	98	5,51	3,20	0,34	9	0,6	0,2	239
	A1	40 - 50	7,4	0,5	42,5	9,5	52,0	52,5	99	4,27	2,48	0,21	12	1,3	4,7	279
	Bg_{Ca}	55 - 70	7,5	0,7	18,8** / 12,0	11,2	42,0	42,7	98					0,6	0,2	247
	BC_{Ca}	70 - 80	7,6	0,5	12,4** / 11,2	10,4	34,8	35,3	99					1,0	0,2	351
					Дерново-луговая солонцеватая											
17Ф	A1	0 - 8	7.2	1.4	31.0	22.2	53.8	54.4	97	11.09	6.43	0.55	12	13.3	2.6	599
	A1	8 - 17	6.3	4.2	28.0	20.0	48.0	52.2	92	10.39	6.03	0.62	10	8.8	2.3	631
	A1	17 - 26	6.2	4.4	27.0	21.0	48.0	52.4	92	9.50	5.57	0.60	9	7.4	1.5	559
	AB	26 - 36	7.4	14.0	25.0	39.0				2.47	1.43	0.29	5	8.8	8.4	248
	AB_{Ca}	40 - 50	7.6		115.2** / 4.4	20.8	136.0			1.06	0.62			7.4	12.2	208

(окончание таблицы 11)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	$B1_{Ca}$	60 - 70	7.8		153,6** / 5.2	8.4	162.0									128
	$B2_{Ca}$	75 - 85	7.7		125,6** / 4.4	18.4	144.0									176
					Торфяно-болотная осушенная											
41Ф	$T1_{Ca}$	0 - 10 1	7,4	0,9	52,8** / 12,0	18,4	83,2	84,1	99	62,40*	1,20	5,9	0,5	32		
	$T1_{Ca}$	10 - 20 1	7,3	1,2	51,2** / 13,6	18,8	83,6	84,8	99	51,46*	1,50	4,1	0,6	319		
	$T1_{Ca}$	20 - 30 1	7,5	1,2	56,0** / 12,0	18,8	86,8	88,0	99	57,57*	1,66	3,2	0,4	973		
	$T2_{Ca}$	30 - 35 1	7,6	0,9	32,8** / 12,8	27,9	73,5	74,4	99	58,33*	1,01	1,4	0,3	526		
	$T2_{Ca}$	35 - 45 2	7,4	1,7	62,8** / 12,0	26,4	101,2	102,9	98	76,19*	2,13	1,4	0,9	351		
	$T2_{Ca}$	42 - 50 1	7,5	1,1	43,6** / 11,2	18,4	73,2	74,3	98	44,69*	1,26	0,9	0,4	289		
	AT_{Ca}	50 - 90	7,6	0,7	18,4** / 12,8	72,8	104,0	104,7	99	12,02*		0,3	0,3	487		
	Cg_{Ca}	90 -100	7,4	0,7	26,4** / 11.2	63,6	101,2	101,9	99			2,7	3,4	383		

*) - потеря при прокаливании

**) - в числителе - поглощенный кальций в знаменателе - кальций карбонатов

ГЛАВА 5

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО — ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Изучение природы и свойств почвенного органического вещества в экосистемах, испытывающих различные антропогенные нагрузки, в том числе и радиационное загрязнение, является исключительно актуальным в связи с необходимостью оценки экологической устойчивости и пластичности почвенного покрова. Все экологические функции почвы замыкаются на ее органическом веществе и в первую очередь на его главном компоненте — гумусе (Ковда, 1974; Добровольский, Никитин, 1990). Гумус является не только источником энергии и питания растений в экосистемах, но и стабилизатором многих почвенных процессов.

Одним из специфических видов загрязнений природной среды является радиоактивное загрязнение почв. Почва, как продукт процессов гипергенеза и взаимодействия литосферы с атмосферой, имеет определенную фоновую радиоактивность благодаря унаследованным из литосферы радионуклидам ^{40}K и рядов распада урана-тория, тория и урана-актиния, а также поступающим из атмосферы вследствие действия космических лучей радионуклидам ^{14}C, ^{3}H, ^{36}Cl (Розанов А.Б., Розанов Б.Г., 1990).

Результаты разнообразных опытов свидетельствуют о том, что прочность закрепления радионуклидов зависит как от их собственных свойств, так и от физико-химических особенностей почв (Вопросы радиоэкологии, 1968; Тихомиров и др., 1981; Молчанова, 1991). Как правило почвы с высоким содержанием органического вещества и глинистых минералов обладают большей сорбционной емкостью и прочнее удерживают радионуклиды, чем почвы легкие с малым содержанием гумуса. Органическое вещество почв специфической природы — гуминовые и фульвокислоты — способны адсорбировать радионуклиды, а также образовывать с ними прочные комплексы и внутрикомплексные соединения, снижающие переход излучателей в растения (Баранова и др., 1985). С другой стороны, разнообразные воднорастворимые органические вещества, продуцируемые в почве, способны переводить химические элементы из твердой фазы в жидкую и увеличивать тем самым их миграцию.

Показано, что ^{90}Sr предпочтительнее связывается фульвокислотами, причем в форме сложных комплексов, в состав которых входят Ca, Fe и Al. Органические кислоты, образуя пленки на поверхности минеральных частиц, заметно ограничивают подвижность радионуклидов в почве. Так закрепление ^{137}Cs в почве происходит отчасти за счет включения его в такие пленки, а также в малорастворимые органоминеральные соединения, гуминовые кислоты и гуматы (Павлоцкая, 1981; Сельскохозяйственная радиоэкология, 1991). Кроме того, вклад органического вещества (и живого — подземные органы растений, животные почвы, и мертвого — детрит, гумус) в общую емкость поглощения различных генетических горизонтов почв неодинаков, что в первую очередь связано с особенностями профильного распределения различных фракций гумуса и изменения корненасыщенности генетических горизонтов профиля. В частности было установлено (Мещеряков, Прокопович, 1993), что по мере уменьшения запасов живых подземных органов растений и растительных остатков разной степени разложения в одноименных генетических горизонтах наблюдается тенденция к увеличению миграции ^{137}Cs в почве.

Таким образом, знание качественного состава гумуса, его запасов, профильного распределения, а также детрита живых подземных органов растений позволяет в определенной мере объяснить особенности закрепления и передвижения радионуклидов в почвенном профиле.

Поддержание бездефицитного баланса органического вещества в пахотных почвах исключительно актуально для агроэкосистем, загрязненных радионуклидами. В том случае, когда в почвах агроэкосистем наблюдается снижение содержания и запасов детрита и особенно гумусовых веществ, происходит высвобождение закрепленных органическим веществом радионуклидов и они поглощаются подземными органами растений. В результате сельскохозяйственная продукция, полученная на почвах с интенсивно протекающей дегумификацией, отличается от продукции, полученной на почвах с положительным балансом органических веществ, более высокой концентрацией радионуклидов. Подчеркнем, что интенсивность их накопления сельскохозяйственными растениями связана с характером распределения корневых систем в почве, видо- и сортоспецифическими особенностями минерального питания возделываемых культур, продолжительностью их вегетационного периода (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1991). Причем роль корневых систем в поглощении радионуклидов возрастает, если корненасыщенные горизонты в почвенном профиле отличаются повышенной концентрацией радионуклидов.

Анализ материалов ризологических исследований (Таршис, Мещеряков, 1987; Фирсова, Красуский, Мещеряков и др., 1993)

показывает, что в пахотном горизонте у зерновых злаков сконцентрирована доминирующая часть (65-85%) физиологически активных подземных органов, причем на серых лесных почвах эта величина существенно (5-8%) превышает таковую на черноземах. Отметим, что именно в пахотном горизонте фиксируется высокая плотность загрязнения ^{90}Sr и ^{137}Cs и именно в пахотном горизонте наблюдается дефицит потенциальных гумусообразователей и протекает дегумификация. Таким образом, именно пахотные почвы с отрицательным балансом органических веществ должны быть первоочередным объектом жесткого радиационного контроля. Причем концентрация радионуклидов в урожае, полученном на серых лесных почвах, может оказаться выше, чем в урожае, полученном на черноземах.

Поскольку органическая часть почвы — это сложная динамическая система, включающая живой компонент, детрит и гумус, то нашими исследованиями были охвачены все ее составляющие.

5.1 Особенности распределения в почвах живых подземных органов растений, пожнивно-корневых остатков и их роль в формировании гумусовых веществ

Для почв агроценозов зоны ВУРСа (в пределах Каменского района Свердловской области) впервые проведено изучение особенностей распределения по генетическим горизонтам наиболее распространенных на этой территории почв запасов (в 0.5 метровой толще) живых подземных органов растений и растительных остатков разных стадий трансформации.

Полученные данные (табл. 12) показывают, что в профильном распределении живых подземных органов и растительных остатков разной степени трансформации есть много общего. Их основная масса сосредоточена в пределах пахотного или гумусового горизонта. При механической обработке с оборотом пласта имеет место перераспределение растительных остатков с верхней в нижнюю часть пахотного горизонта (табл. 12; разрезы 6Ф и 10Ф) В большинстве случаев, особенно в почвах под многолетними травами, закономерно уменьшается масса живых корней и растительных остатков с глубиной. На пашне, как правило, в верхнем слое пахотного горизонта (0-10 см) слабо разложившиеся растительные остатки доминируют над сильно разложившимися, а в нижней части этого горизонта — наоборот.

В луговых почвах отношение слабо/сильно разложившиеся растительные остатки максимальных значений достигает на глубине 20-30 см, что принципиально отличает их от ежегодно вспахиваемых почв. Фитомасса живых подземных органов закономерно

Таблица 12

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

N разреза, угодье, культура	Горизонт	Глубина, см	Растительные остатки: Слабо разложившиеся г/м²	Растительные остатки: Слабо разложившиеся %	Растительные остатки: Сильно разложившиеся г/м²	Растительные остатки: Сильно разложившиеся %	Живые корни г/м²	Живые корни %	Отношение слабо/сильно разложившиеся растительные остатки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6Ф	Апах	0 - 7	11.62	34.7	10.51	19.3	80.09	38.5	1.1
пашня,	Апах	7 - 14	8.47	25.3	11.17	20.5	58.24	28.0	0.7
пшеница	Апах	14 - 25	13.40	40.0	29.33	53.8	47.89	23.0	0.4
	Апах	25 - 30	не опр.	не опр.	2.56	4.7	7.28	3.5	не опр.
	В1	30 - 40	- « -	- « -	0.93	1.7	12.06	5.8	- « -
	В1	40 - 50	- « -	- « -	не опр.	не опр.	2.50	1.2	- « -
10Ф	Апах	0 - 10	19.10	45.1	27.96	40.0	84.95	35.7	0.7
пашня,	Апах	10 - 20	22.69	53.6	40.56	58.2	79.22	33.3	0.5
пшеница	А1	20 - 31	0.55	1.3	1.25	1.8	65.17	27.4	0.4
	В1	31 - 45	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	8.34	не опр.	не опр.
	В1	45 - 55	- « -	- « -	- « -	- « -	не опр.	- » -	- » -

Таблица 13

Запасы живых корней и растительных остатков в почвах агроэкосистем зоны ВУРСа в слое 0-50 см, т/га

NN разрезов	Угодье	Культура	Почва	Корни	Разложившиеся остатки		Запас живой и мертвой фитомассы
					слабо-	сильно-	
6Ф	Пашня	Пшеница	Светло-серая лесная	2.08	0.33	0.54	2.95
10Ф	Пашня	Пшеница	Серая лесная	2.37	0.42	0.69	3.48
22Ф	Пашня	Овес	Чернозем выщелоченный	2.72	0.49	0.47	3.68
24Ф	Пашня	Озимая рожь	Чернозем выщелоченный	2.85	0.55	0.55	3.95
1Ф	Луг	Многолетние травы	Лугово-черноземная	15.26	2.62	3.49	21.37
4Ф	Луг	Многолетние травы	Серая лесная	13.55	2.13	2.97	18.65

убывает от верхних слоев к нижележащим. В изученных пахотных почвах частым образованием является плужная подошва. Она четко выражена в разрезе 6Ф. Этот слой почвы характеризуется высокой плотностью (объемной массой), низкой пористостью и степенью аэрации и является преградой для роста подземных органов растений. Насыщенность почвы корнями в этом горизонте значительно уменьшается. Корни растений обычно через этот горизонт проходят целыми пучками по единичным трещинам, порам, червороинам и корневинам.

Корневая система однолетних злаков занимает незначительный объем почвы. Корни, особенно в пределах пахотного горизонта, сильно ветвятся, образуя многочисленные мелкие корешки 3-4-го порядков ветвления, которые пронизывают практически все почвенные агрегаты этого горизонта. В подпахотных слоях насыщенность почвы корнями резко уменьшается.

Определение запасов живых корней (табл. 13) показало, что среди однолетних злаков максимальное количество корневых остатков остается в почве после озимой ржи (2.85 т/га) и несколько меньше - после овса (2.72 т/га). Для посевов яровой пшеницы характерна минимальная подземная фитомасса — 2.08 и 2.37 т/га для светло-серой и серой почв соответственно. Суммарный запас растительной массы (живые корни и растительные остатки) в полуметровой толще изученных пахотных почв невелик (3.0-4.0 т/га) и возрастает в ряду почв от менее плодородных к более плодородным. Аналогично изменяется и количество слаборазложившихся остатков.

Помимо полевых агроценозов с однолетними зерновыми злаками в зоне ВУРСа были изучены и луговые агроценозы. Они представляют собой единую устойчивую биогеоценотическую систему со сложившимися и весьма прочными, в отличие от полевых фитоценозов, связями между растениями и средой. Особенностью лугового фитоценоза является хорошо выраженный специфический биогоризонт — дернина.

Проведенными ризологическими исследованиями на примере посевов многолетних луговых трав (разрезы 1Ф и 4Ф) оценены запасы подземной фитомассы, установлены морфологическая структура корней, мощность их развития и закономерности их распределения по почвенным слоям.

Суммарный запас растительной массы в полуметровой толще в разрезах 1Ф и 4Ф составил 21.37 и 18.65 т/га соответственно. На долю живых подземных органов в разрезе 1Ф пришлось 71.4%, а разрезе 4Ф — 72.6% от общих запасов растительной массы. Запасы детрита в рассматриваемых разрезах составили соответственно 6.11 и 5.10 т/га. В составе детрита сильно разло-

жившиеся растительные остатки преобладают над слабо разложившимися, и только в нижней части горизонта А1 (слой 20-30 см) соотношение между рассматриваемыми фракциями растительных остатков обратное (табл. 13). В самом верхнем 0-10 см слое (дернина) в разрезе 1Ф сосредоточено 34.4% от общей массы живых корней, а в разрезе 4Ф - 48.0%. В этом слое разреза 1Ф сосредоточена и основная масса слабо и сильно разложившихся растительных остатков — 53.4 и 58.2% соответственно. Насыщенность почвы живыми корнями и растительными остатками разных стадий трансформации в пределах гумусового горизонта с глубиной заметно уменьшается, и в горизонтах АВ и В она минимальная. В луговых фитоценозах глубина проникновения корней растений определяется положением грунтовых вод и высотой их капиллярного поднятия. В исследуемых почвах появление верховодки в дождливый 1992 год было отмечено с глубины около 1 метра.

Очень важной характеристикой любой наземной экосистемы является интенсивность биологического круговорота, которая может быть определена по скорости разложения опада, включая и корнеопад. Весьма информативным показателем интенсивности разложения растительных остатков и высвобождения энергии служит отношение запасов мертвого органического вещества к суммарному опаду, выражаемое в лесных фитоценозах через опадоподстилочный коэффициент (Базилевич, Родин, 1971). В луговых агрофитоценозах, где большая часть фитомассы сосредоточена в подземной сфере, а надземная фитомасса съедается скотом или скашивается на сено, оценивать интенсивность разложения растительных остатков целесообразно по следующей формуле:

$K = (в + с)/0.33а$, где

0.33 — постоянный коэффициент для расчета ежегодного опада корней многолетних растений. Этот коэффициент взят из расчета, что ежегодно примерно 1/3 массы живых подземных органов многолетних растений, по некоторым данным, отмирает;

а — масса живых подземных органов растений;

в и с — масса, соответственно, слабо и сильно разложившихся растительных остатков.

На наш взгляд эту формулу для оценки биологического круговорота возможно применять только для луговых агроэкосистем, где нет ежегодной механической обработки почвы, способствующей перемещению свежих растительных остатков вглубь почвенного профиля, и не вносятся органические удобрения.

В результате проведенных расчетов было установлено, что для разреза 1Ф – К=1.21, а для разреза 4Ф – К=1.14. Эти данные,

сопоставленные с опадо-подстилочным коэффициентом для аналогичных целинно-лесных почв, свидетельствуют о быстроте процессов минерализации и гумификации растительных остатков в почвах изучаемых экосистем и высокой интенсивности биологического круговорота.

Как уже отмечалось, растительным остаткам сельскохозяйственных культур принадлежит важная роль в возмещении потерь гумуса и поддержании его бездефицитного баланса. Для полной и всесторонней оценки роли культурных растений в восполнении запасов почвенного органического вещества необходимо располагать сведениями не только о массе подземных органов, но и массе стерни и прочих растительных остатков. Масса последних непосредственно в полевых условиях не определялась и была рассчитана нами по урожаю (основной продукции) на основании уравнений регрессии, которые были предложены для соответствующих целей Ф.И.Левиным (1977). Данные по средней урожайности сельскохозяйственных культур в хозяйствах Каменского района, соответствующие регрессионные уравнения приведены в таблице 14. Оказалось, что после овса и озимой ржи на поле остается в среднем одинаковое количество поверхностных остатков.

Наряду с подземными и надземными растительными остатками в приходную часть баланса органического вещества почвы входит органическое вещество не учитываемых прижизненно отмирающих корешков, корневых волосков, слущивающихся клеток и корневых выделений. Их масса, по мнению ряда авторов (Левин, 1977; Розанов, 1990) составляет в сумме около 30% массы учтенных живых корней.

Общее количество свежего органического вещества, ежегодно поступающего в почвы агроэкосистем и участвующего в процессах гумусообразования, достигает значительных величин (табл. 13). Однако необходимо отметить различную роль пожнивно-корневых остатков изучаемых сельскохозяйственных культур в балансе гумуса. Значимость тех или иных растительных остатков для гумусообразования определяется их коэффициентами гумификации, которые зависят от анатомического строения и химического состава пожнивно-корневых остатков. По литературным данным (Иванов и др., 1985; Рекомендации .., 1984) коэффициент гумификации яровых и озимых зерновых культур — 0.18, многолетних трав — 0.20, а прижизненно отмирающих корешков, слущивающихся клеток и корневых выделений — 0, то есть они не оказывают влияния на накопление гумусовых веществ. Нашими исследованиями (Мещеряков, 1985а, в; Мещеряков, 1988) показано, что отмирающие мелкие корешки, слущивающиеся клетки и корневые выделения влияют в основном на сезонную динамику мобильных

Таблица 14

Урожаи сельскохозяйственных культур, уравнения регрессии и масса поверхностных остатков в агроценозах, ц/га.

Культуры	Урожай	Уравнения	Поверхностные остатки
Луговые многолетние травы	30-60	$x = 0.1y + 10$	13.0 – 16.0 14.5*
Озимая рожь	18-23	$x = 0.3y + 3.2$	8.6 – 10.1 9.35*
Пшеница	15-20	$x = 0.4y + 1.8$	7.8 – 13.4 10.6*
Овес	20-23	$x = 0.15y + 6.1$	9.1 – 9.6 9.35*

* - средняя величина

водорастворимых форм органического углерода, максимальное количество которого в почвах агроэкосистем с яровыми зерновыми приурочено к раннелетнему периоду. В почвах агроценозов с многолетними травами и озимыми зерновыми культурами отмечается два максимума в содержании подвижных форм органического углерода — раннелетний и осенний. Именно в эти периоды идет интенсивно процесс кущения злаков, сопровождающийся нарастанием их подземной фитомассы. Сезонная и погодичная динамика собственно гумусовых веществ связана с количеством новообразованных органических веществ из пожнивно-корневых остатков.

В почвах под яровыми и озимыми зерновыми культурами ежегодно образуется примерно одинаковое количество гумуса (0.56-0.68 т/га), а под многолетними травами — 3.00-3.34 т/га (табл. 15). Исходя из сведений по количеству новообразованных гумусовых веществ можно констатировать следующий факт: в пахотных почвах под зерновыми злаками складывается дефицит гумусовых веществ в размере 0.32-0.44 т/га в год, а в почве под

Таблица 15

Масса потенциальных гумусообразователей и возможное новообразование гумуса в почвах агроэкосистем зоны ВУРСа, т/га

NN разрезов	Угодье	Культура	Пожнивно-корневые остатки	Корневые выделения, корешки, мелкие волоски	Общее количество гумусообразователей	Новообразованные гумусовые вещества
6Ф	Пашня	Пшеница	3.14	1.62	3.75	0.56
10Ф	Пашня	Пшеница	3.43	0.71	4.14	0.62
22Ф	Пашня	Овес	3.65	0.82	4.47	0.66
24Ф	Пашня	Озимая рожь	3.78	0.85	4.63	0.68
1Ф	Луг	Многолетние травы	16.71	4.58	21.29	3.34
4Ф	Луг	Многолетние травы	15.00	4.06	19.06	3.00

многолетними травами баланс положительный, то есть идет накопление гумуса в размере 2.5 т/га в год.

В случае, если складывающийся в почве отрицательный баланс органических веществ не будет компенсирован за счет вносимых органических удобрений или они не вносятся совсем, то для этих почв появляется угроза интенсивной дегумификации, последствия которой сказываются на всех режимах и свойствах почв и состоянии экосистемы в целом.

5.2 Запасы углерода общего, его водорастворимых форм и предгумусовой фракции.

Корневые системы растений являются потенциальным гумусообразователем, и в зависимости от стадии их трансформации они образуют гумусовые вещества различной миграционной способности. При оценке гумусного состояния почв в последнее время все чаще стали пользоваться такими важными характеристиками как запасы общего углерода, и особенно углерода предгумусовой фракции, и углерода водорастворимого.

Для нашего сравнительного изучения были взяты почвы разных генетических типов: серая лесная пахотная (разрезы 4Ф, 6Ф, 10Ф), лугово-черноземная под лесом (разрез 2Ф) и черноземы выщелоченные (разрезы 9Ф, 13Ф, 20Ф, 22Ф, 24Ф). Как видно из полученных данных (табл. 16) максимальные запасы общего углерода соответствуют черноземным почвам и они изменяются в пахотном слое (0-20 см) от 75 (разрез 9Ф) до 143 т/га (разрез 24Ф), а в полуметровой толще - от 146 (разрез 13Ф) до 345 т/га (разрез 24Ф). Несколько меньшими запасами характеризуются пахотные серые лесные почвы, например, в разрезе 6Ф, который был заложен на пашне на восточном берегу озера Червяное, запасы общего углерода составили для слоя 0-20 и 0-50 см — 49 и 83 т/га соответственно. Более высокие запасы его оказались в серой лесной почве (разрез 4Ф), используемой как выгон орошаемый. Причиной тому могли послужить многолетние луговые злаки, которые, в отличие от однолетних зерновых, обладают более мощной корневой системой и активно поставляют в почву в значительных количествах потенциальные гумусообразователи.

Запасы углерода предгумусовой фракции являются важным показателем экологических условий гумусообразования (Фирсова, Мещеряков, Горячева, 1990). Среди изученных почв наиболее высокими запасами рассматриваемых органических веществ отличаются почвы в условиях повышенного увлажнения (разрезы 2Ф, 4Ф). Много меньшими запасами углерода предгумусовой фракции характеризуются пахотные почвы, в том числе и черноземы. В пахотных почвах запасы рассматриваемой фракции варьируют в

Таблица 16

Запасы общего углерода, его водорастворимых форм и углерода предгумусовой фракции в почвах зоны ВУРСа, т/га в слоях 0-20 и 0-50 см

NN разрезов	Почва	Угодье	С общий		С предгумусовой фракции		С водорастворимый	
			0-20	0-50	0-20	0-50	0-20	0-50
2Ф	Лугово-черноземная выщелоченная	Лес	72.19	127.30	10.87	17.79	0.66	1.55
4Ф	Серая лесная	Луг (выгон орошаемый)	78.69	142.83	10.61	19.87	0.94	2.15
6Ф	Светло-серая лесная	Пашня	49.18	83.53	2.75	3.12	0.87	1.87
10Ф	Серая лесная	Пашня	66.87	113.41	5.72	8.21	0.81	1.84
9Ф	Чернозем средневыщелоченный	Пашня	75.15	182.15	7.68	11.24	0.74	не опр.
13Ф	Чернозем слабовыщелоченный	Пашня	98.18	146.08	4.34	8.05	1.13	2.05
20Ф	Чернозем вышелоченный	Пашня	103.46	не опр.	3.22	не опр.	1.09	не опр.
22Ф	Чернозем вышелоченный	Пашня	110.92	203.88	2.46	4.63	0.86	2.14
24Ф	Чернозем вышелоченный	Пашня	143.98	345.66	8.19	24.32	0.60	1.60

Таблица 17

Структура запасов почвенного органического вещества в почвах агроэкосистем в зоне ВУРСа

NN разрезов	Экосистема	Суммарный запас живого и мертвого органического вещества, %	Втом числе, %		
			Гумус	Детрит	Живые подземные органы растений
6Ф	Посевы пшеницы	100	97.9	0.6	1.5
4Ф	Луг орошаемый (выгон)	100	91.9	2.2	5.9

слое 0-20 см от 2.75 в серой лесной почве (разрез 6Ф) до 8.19 т/га в черноземе (разрез 24Ф), что зависит от периодичности и доз вносимых органических удобрений, типа севооборота и культур в нем. Подчеркнем, что в почвах агроэкосистем, которые были охарактеризованы на примере разрезов 6Ф и 20Ф явно ощущается дефицит в потенциальных гумусообразователях — свежих растительных остатках, органических удобрениях.

Запасы 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 водорастворимого углерода в почвах зоны ВУРСа. Подчеркнем, что в почвах агроэкосистем, особенно в пределах пахотного горизонта (0-20 см) отмечены несколько большие запасы водорастворимого углерода, чем в лесной почве. Данный факт свидетельствует о недостаточной окультуренности пахотных почв в зоне ВУРСа. По мнению ряда исследователей (Иванов, 1987; Фирсова, Красуский, Мещеряков, 1988) органическое вещество пахотных почв по мере увеличения степени их окультуренности превращается в более труднорастворимые формы, прочно закрепляясь минеральной частью почвы.

В заключении рассмотрим особенности структуры запасов почвенного органического вещества. Известно (Базилевич и др.,1986; Одум, 1975), что каждый тип экосистем характеризуется определенной структурой запасов органического вещества как в надземной, так и в подземной сфере. Соотношение запасов

живого и мертвого органического вещества в почве свидетельствует об определенной интенсивности биологического круговорота и почвообразовательного процесса. На примере двух разрезов (4Ф и 6Ф) рассмотрим структуру запасов органического вещества в луговых и пахотных почвах агроэкосистем зоны ВУРСа. Из данных таблицы 17 видно, что в рассматриваемых экосистемах доминирует в структуре почвенного органического вещества гумус (> 90%).

Доля живых подземных органов растений и детрита (растительных остатков разных стадий трансформации) в почве луга несколько выше, чем на пашне. Считается, что доля детрита в структуре запасов для обеспечения экологической устойчивости агроэкосистемы и расширенного воспроизводства в ней запасов гумусовых веществ должна быть не менее 2%, а в оптимальном случае — 3-5% от суммарного запаса живого и мертвого почвенного органического вещества (Одум, 1975), то есть в нашем случае все мелиоративные мероприятия должны быть направлены на увеличение доли детрита.

5.3 Качественный состав гумуса и его роль в накоплении и перераспределении радионуклидов в почвах

Исходя из особой роли гумусовых веществ в закреплении и миграции радионуклидов (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1991) нами впервые была предпринята попытка изучения качественного состава гумуса и гумусного состояния почв этого региона.

Как видно из приведенных данных (рис. 5-10) рассматриваемые почвы значительно различаются по фракционно-групповому составу. Качественный состав гумуса, в частности его групповой состав отражает общий уровень накопления гумуса в почвах, определяемый как размером поступления, так и темпами и глубиной гумификации растительных остатков. По групповому составу гумуса (Сгк:Сфк) рассматриваемые почвы существенно различаются. В большинстве изученных почв в гумусово-аккумулятивной части профиля наблюдается доминирование (в 2-6 раз) гуминовых кислот над фульвокислотами, то есть здесь формируется гумус гуматного типа. В некоторых почвах (преимущественно лесных — разрезы 11Ф и 8Ф) отношение Сгк:Сфк более узкое — 1.2-1.5, то есть эти почвы характеризуются гуматно-фульватным типом гумуса.

По разному изменяется отношение Сгк:Сфк в почвах с глубиной: в одних из них (разрезы 13Ф и 24Ф) тип гумуса не изменяется, оставаясь гуматным до глубины 50-60 см, в большинстве других — гуматный тип гумуса сменяется гуматно-фульватным, и,

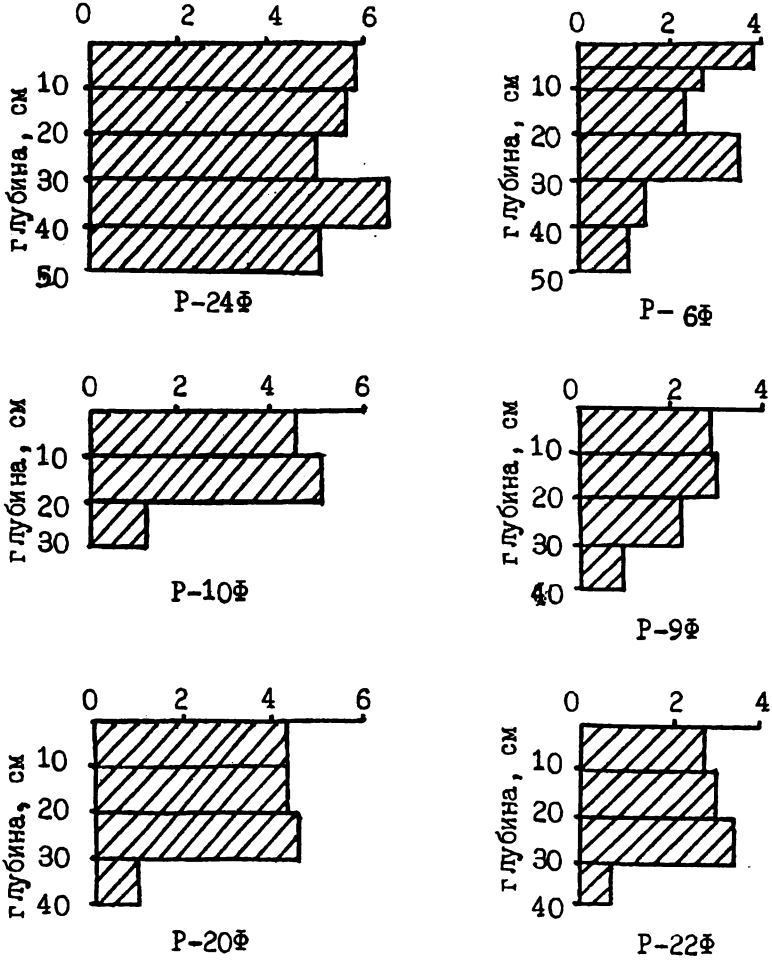


Рис. 5. Величина отношений Сгк:Сфк

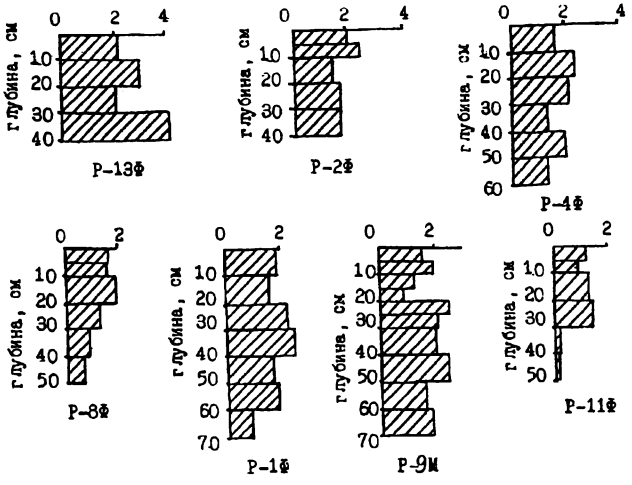


Рис. 6. Величина отношений Сгк:Сфк

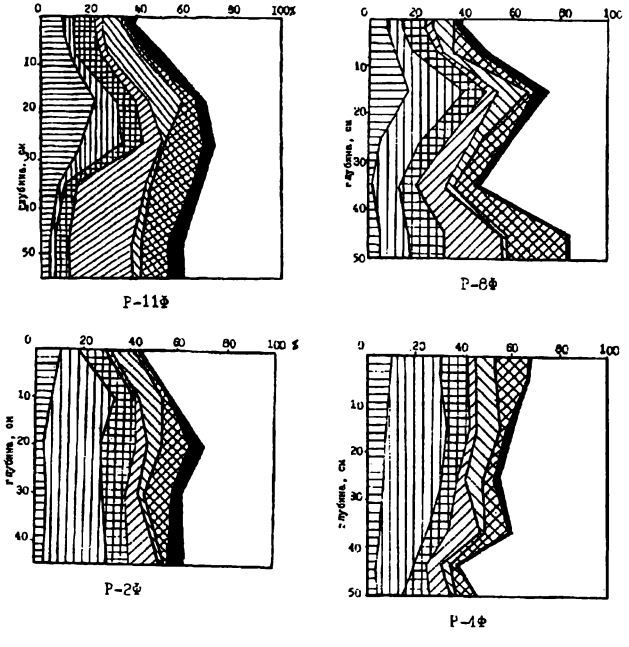


Рис. 7. Качественный состав гумуса почв

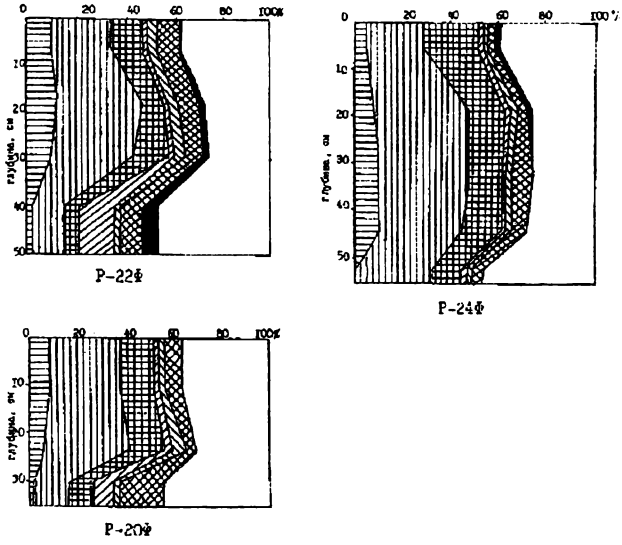


Рис. 7. Качественный состав гумуса почв

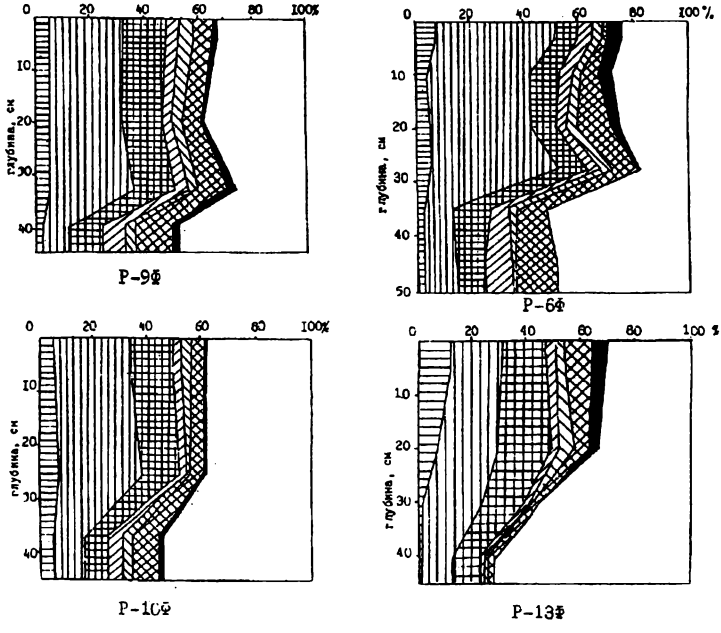


Рис. 7. Качественный состав гумуса почв

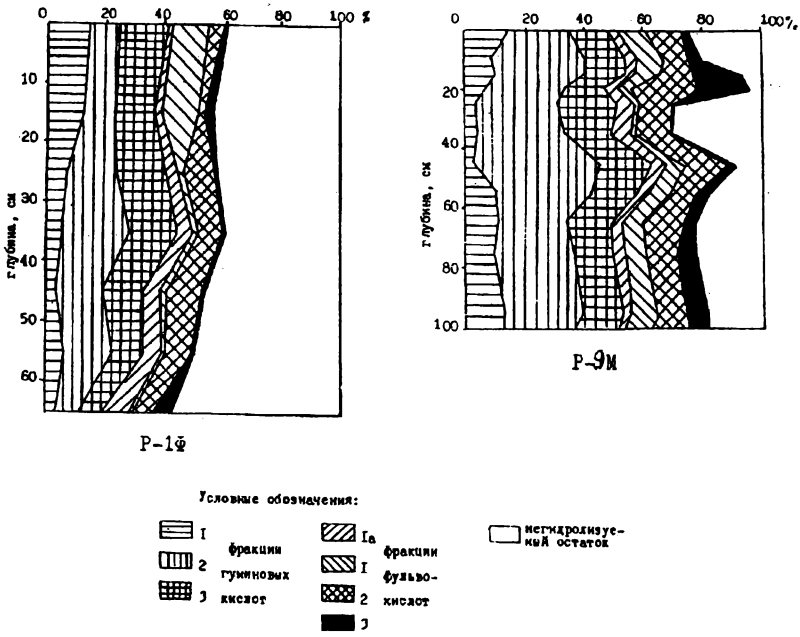


Рис. 7. Качественный состав гумуса почв

наконец, есть разрезы (20Ф, 22Ф, 8Ф), где в нижней части профиля доминируют фульвокислоты, то есть тип гумуса фульватный (рис. 5 - 6).

Большой интерес представляют почвы, где при общем гуматном типе гумуса вниз по профилю происходит дальнейшее расширение отношения Сгк:Сфк (рис. 5—6, разрезы 13Ф, 24Ф). Причина столь высокой концентрации гуминовых кислот в этих почвах не ясна. Согласно имеющимся в литературе данным в черноземах разных подтипов и из разных почвенно-биоклиматических областей, отношение Сгк:Сфк обычно не превышает четырех. В нашем случае увеличение количества гуминовых кислот и расширение отношения Сгк:Сфк до 6 связано с формированием в этой части профиля слоев, насыщенных кальцием. Образование последних мы склонны рассматривать как «искусственное» образование, как следствие интенсивного известкования почв в послеаварийный период с целью их дезактивации после взрыва. Кроме того, не исключено в этом случае влияние карбонатов, выделения которых обнаружены с глубины 45 см.

На изучаемой территории были обнаружены почвы с погребенным гумусовым горизонтам (рис. 6, разрез 9М), образование которого связано с проведением в начальный послеаварийный период серии дезактивационных работ. Последние были проведены на территории ВУРСа в зонах с максимальной плотностью загрязнения и они представляют собой глубокую отвальную вспашку, в результате которой верхняя часть гумусового профиля оказывалась перемещенной на глубину 50–90 см.

Изучение качественного состава гумуса таких почв представляет исключительный научный и практический интерес, ибо позволяет оценить влияние рекультивации на гумусное состояние почв. Как видно из полученных данных (рис. 6) тип гумусовых веществ изменяется от фульватно-гуматного (Сгк:Сфк=1.3-2.0) в верхней и средней частях современного гумусового горизонта до гуматно-фульватного (Сгк:Сфк=0.9) в его нижней части. В горизонте В тип гумусовых веществ гуматный, а в погребенном горизонте он вновь изменяется до фульватно-гуматного.

Рассмотрим фракционный состав гумусовых веществ, который дает представление о формах их связи с минеральной частью почвы (табл. 18, рис. 7–10). Во фракционном составе гуминовых кислот (ГК) почти повсеместно преобладает (50–75%; табл. 18) фракция 2, прочно связанная с кальцием. Заметим, что шире представлена фракция 2 в составе ГК в нижней части гумусового профиля, чем в иллювиальном горизонте. Относительное участие этой фракции в дерново-луговой рекультивированной почве (разрез 9М, табл. 18, рис. 10) свидетельствует о двучленности профиля. В «современной» его части минимум ГК-2, связанных с кальцием приходится на вновь формирующийся гумусовый горизонт (0-5 см). Ниже по профилю участие фракции 2 возрастает, достигая максимума на глубине 38-48 см, что не исключает проведения известкования, предшествующего погребению верхней почвенной толщи. В пределах погребенного гумусового горизонта, напротив, наблюдается уменьшение роли этой фракции с глубиной.

В органогенных горизонтах лесных почв (разрезы 2Ф, 8Ф, 11Ф; табл. 18) в отличие от рассмотренных выше, шире представлены во фракционном составе ГК фракции 3 и 1 (прочно- и рыхлосвязанные с полуторными оксидами), чем связанные с кальцием (фракция 2). Последние, однако, доминируют в минеральной части профиля. Только в лесной почве блюдца-западины (разрез 11Ф) наблюдается явное доминирование по всему профилю высокоподвижной фракции ГК-1, что обусловлено как избыточным увлажнением этой почвы, так и возможной частичной миграцией гумусовых веществ этой фракции с участков, расположенных выше по

Таблица 18

Относительное содержание фракций гуминовых кислот (% к сумме гуминовых кислот), величина оптической плотности фракций ГК (ЕСмг/мл)

NN разрезов	Глубина взятия образца, см	Горизонт	% фракций ГК к общей их сумме 1	2	3	Оптическая плотность фракций ГК ($E_C^{мг/мл}$) 1	1+2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2Ф	АО	0 - 3	34	29	37	7.9	13.2	6.9
	А1	3 - 10	18	63	19	13.4	28.6	11.1
	А1	10 - 20	9	56	35	6.0	24.3	20.4
	А1	20 - 35	14	61	25	3.9	22.9	20.4
	АВ	35 - 46	11	68	21	1.3	6.0	11.9
8Ф	АО	0 - 3	34	24	42	6.0	6.6	8.5
	АОА1	3 - 10	39	24	37	9.2	11.1	8.4
	А1	10 - 20	35	45	20	16.6	18.8	5.4
	А2	20 - 30	18	51	31	5.6	15.4	6.7
	В1	30 - 40	10	54	36	2.2	9.6	4.9
	В1	40 - 50	21	33	46	0.9	6.6	2.3
11Ф	АО	0 - 3	38	19	43	5.0	5.1	6.0
	АОА1	3 - 12	47	7	46	6.6	8.5	7.7
	А1	12 - 22	59	20	21	15.0	20.9	6.7
	А2g	22 - 30	40	39	21	9.0	15.0	6.1
	Bg	30 - 40	49	14	37	3.2	10.7	5.9
	Bg	40 - 55	37	14	49	3.2	8.2	4.9
4Ф	А1	0 - 10	21	51	28	10.1	21.0	8.0
	А1	10 - 20	17	62	21	10.5	20.1	10.0
	А1	20 - 30	18	63	19	13.7	22.3	9.1
	В	33 - 40	15	60	25	2.3	11.6	7.1
	В	40 - 47	13	62	25	2.4	8.8	2.9
	ВС	47 - 55	16	40	44	1.5	6.7	3.8
6Ф	Апах	0 - 7	15	66	19	8.2	17.6	12.7
	Апах	7 - 14	9	69	22	9.7	19.6	6.4
	Апах	17 - 25	10	71	19	9.5	17.9	8.1
	Апах	25 - 30	8	75	17	8.5	19.3	6.8

(продолжение таблицы 18)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	B1	30 - 40	11	43	46	1.0	8.0	1.9
	B1	40 - 50	12	44	44	0.9	10.3	2.3
10Ф	Апах	0 - 10	11	57	32	9.7	26.4	18.7
	B1	20 - 31	12	60	28	7.6	26.5	16.9
	B1	31 - 45	15	45	40	2.5	16.0	8.6
9Ф	Апах	0 - 8	13	54	33	12.7	27.0	20.6
	Апах	16 - 23	14	55	31	9.9	27.1	19.4
	A1	30 - 34	10	61	29	8.5	26.6	19.6
	B1	34 - 44	12	39	49	1.6	12.1	5.6
13Ф	Апах	0 - 8	26	38	36	9.4	21.7	16.5
	Апах	16 - 25	14	46	40	11.2	22.6	15.1
	A1	25 - 35	4	58	38	1.9	16.8	9.9
	AB	35 - 45	8	45	47	1.6	23.3	16.9
20Ф	Апах	0 - 20	18	55	27	11.6	12.7	21.7
	Апах	20 - 26	13	58	29	11.2	27.3	18.3
	B	26 - 35	9	50	41	2.1	18.4	10.0
22Ф	Апах	0 - 12	22	51	27	16.6	27.9	18.8
	Апах	12 - 25	23	61	16	17.1	27.3	12.7
	AB1	25 - 33	17	57	26	17.4	30.1	17.9
	B1	35 - 50	14	55	31	3.2	10.0	7.5
24Ф	Апах	0 - 12	10	64	26	12.7	28.4	19.4
	Апах	12 - 25	14	61	25	14.1	25.9	18.6
	A1	25 - 37	17	61	22	9.9	25.6	20.4
	A1	37 - 50	17	57	26	8.7	24.3	18.4
	AB	50 - 55	5	65	30	4.0	28.0	20.8
1M	A1	0 - 5	29	44	27	10.2	19.0	8.1
	A1	5 - 10	16	57	27	6.5	19.0	8.4
	A1	10 - 15	19	55	26	8.1	16.5	7.5
	A1	15 - 23	16	55	29	5.2	20.0	7.8
	B	23 - 25	9	53	38	5.5	15.4	7.8
	B	28 - 38	8	60	32	4.8	14.0	5.1

(продолжение таблицы 18)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	B	38 - 48	5	67	28	14.7	17.7	6.7
	Апогр.	48 - 58	17	55	28	10.5	18.1	8.0
	Апогр.	58 - 68	22	46	32	8.6	17.7	5.9
	Апогр.	68 - 78	20	53	27	9.4	18.5	6.3
	Апогр.	78 - 88	22	51	27	10.5	17.7	6.9
	Апогр.	88 - 98	24	50	26	10.1	16.8	7.2
1Ф	A1	0 - 10	35	24	41	6.7	14.9	7.5
	A1	10 - 20	35	29	36	6.0	19.6	12.0
	A1	20 - 30	18	39	43	2.8	21.0	12.0
	A1	30 - 37	11	52	37	3.3	16.1	13.0
	AB	40 - 50	10	56	40	2.1	19.9	12.1
	AB	50 - 57	19	49	32	1.2	14.9	7.1
	B	60 - 70	17	44	39	2.8	14.8	5.4

рельефу. Высокое содержание фракций ГК-1 и ГК-3, превышающее количество фракции 2 наблюдается также в верхней части почвенного профиля лугово-черноземной почвы (разрез 1Ф).

Таким образом, содержание гуминовых кислот, связанных с кальцием (% к сумме ГК) по системе показателей гумусного состояния (Орлов, Гришина, 1981) оценивается преимущественно как среднее (до 60%), а для верхних горизонтов лесных почв как низкое (20-40%). Содержание «свободных» ГК (% от суммы ГК) преимущественно очень низкое (< 20%) и, реже, низкое (20-40%). Содержание прочносвязанных ГК (фракция 3) повсеместно высокое (> 20%).

В составе фульвокислот обнаружено небольшое содержание так называемой «агрессивной» фракции 1а, количество ее вследствие высокой подвижности возрастает с глубиной. Довольно широко представлены фульвокислоты, связанные с кальцием (фракция 2). В распределении ее по профилю отчетливо проявляется экранирующее (барьерное) влияние уплотненного иллювиального горизонта. Фульвокислоты, прочно связанные с оксидами алюминия и железа либо отсутствуют, либо представлены незначительным количеством.

Профиль дерново-луговой почвы с погребенным горизонтом (разрез 9М) по содержанию фракций фульвокислот очень неодно-

роден. Например, количество фракции 1а в верхней («современной») почвенной толще увеличивается с глубиной, тогда как в погребенной - уменьшается. В распределении по профилю фракции 1 ФК наблюдается противоположная закономерность. В целом, по суммарному количеству фульвокислот верхняя часть профиля дифференцирована сильнее, чем нижняя.

По величине негидролизуемого остатка сравниваемые почвы различаются слабо. Меньше его содержится в пахотном горизонте, где происходит более активное разложение органических остатков. В подпахотном горизонте содержание негидролизуемого остатка выше. Погребенный горизонт дерново-луговой почвы отличается более низким и относительно равномерным распределением негидролизуемого остатка в пределах его толщи. В лесных почвах за счет свежего опада больше негидролизуемых веществ образуется в верхних горизонтах (А0 и А0А1).

Оптическая плотность (табл. 18) всех фракций гуминовых кислот закономерно уменьшается с глубиной. Наиболее низкой оптической плотностью характеризуются вновь образованные гумусовые вещества лесных подстилок. Высокой оптической плотностью, практически не изменяющейся по профилю, отличаются «сильно известкованные» почвы (разрез 24Ф). Значительных различий в оптической плотности гуминовых кислот в лугово-черноземной почве разреза 9М между «современным» и погребенным гумусовым горизонтом не выявлено.

Сопряженный анализ содержания и профильного распределения радионуклидов и отдельных групп и фракций гумуса позволяет отметить следующие закономерности. Лесным почвам, отличающимся наибольшей концентрацией радионуклидов (до 600 Бк/кг — ^{90}Sr) характерны наиболее узкие отношения Сгк:Сфк, высокое содержание негидролизуемого остатка и незначительное количество фракций 2 гуминовых и фульвокислот. Исключение составляет почва под молодым березовым лесом (разрез 4Ф), которая, судя по фракционному составу гумуса (в частности, по высокому содержанию фракции 2 ГК и небольшому негидролизуемому остатку, величины которых близки к показателям для пахотных почв), в прошлом использовалась под пашню.

В пахотных почвах агроценозов, подвергающихся ежегодной механической обработке, внесению удобрений и используемых для выращивания различных сельскохозяйственных культур, взаимозависимость между содержанием радионуклидов и показателями фракционно-группового состава гумуса выявляется слабо.

Отличительной особенностью пахотных почв является более широкое, чем в лесных, отношение Сгк:Сфк, значительно большее участие в составе ГК принимает фракция 2 и меньше содержит-

ся негидролизуемого остатка. В целом эти показатели, как и концентрация радионуклидов в пахотных почвах, колеблются в широких пределах.

Основной отличительной особенностью дерново-луговой рекультивированной почвы (разрез 9М) от ненарушенной (разрез 1Ф) является резкое увеличение в ней содержания фракции ГК-2, уменьшение количества негидролизуемого остатка и значительное колебание содержания фракций по профилю.

Итак, по качественному составу гумуса представляется возможным не только объяснить особенности накопления и миграции радионуклидов в почвах, но и реконструировать происходящие в почвах любые антропогенные изменения. Изучение гумусного состояния почв должно быть объектом мониторинга, ибо изменение в запасах и фракционно-групповом составе гумуса могут стать причиной увеличения доступности радионуклидов сельскохозяйственным растениям.

Основанием для такого опасения может быть увеличение дегумификации почв, констатируемое, в частности, нашими исследованиями (Фирсова, Красуский, Мещеряков, 1988; Фирсова, Красуский, Мещеряков, Горячева, 1993).

На примере пахотных серых лесных почв нами было показано, что максимальные потери органического вещества почвой наблюдаются в начальный период сельскохозяйственного освоения. В первые 5 лет после освоения целиннолесной почвы в метровой толще теряется ежегодно 3.5 т/га гумуса, за период от 5 до 30 лет — 0.45 т/га, а в последующие 50 лет — по 0.03 т/га ежегодно и к 80-летнему сроку экстенсивного использования почвы под пашню содержание гумуса (при условии постоянства факторов гумусообразования) падает до критического уровня — 1.95_7+0.04%.

Наряду с уменьшением количества гумуса в пахотных почвах происходит и ухудшение его качественного состава: возрастает фульватность, снижается количество доступных микроорганизмам органических кислот, увеличивается плотность их связи с минеральной частью почвы, то есть возрастает его «инертность»

Возделывание сельскохозяйственных культур по интенсивной технологии не обеспечивает расширенного воспроизводства гумусовых веществ, о чем можно судить по низкой потенциальной способности этих почв к гумусонакоплению. Разница между Собщ. и Сгум. варьирует в пределах 0.13-0.43%, что значительно меньше минимально допустимого значения (0.5%). Под влиянием высоких доз физиологически кислых минеральных удобрений происходит изменение качественного состава гумуса в сторону увеличения его фульватности.

Проведенные расчеты перспективного (на 10 лет) и ретроспективного (за 30-летний период) балансов органического вещества в почвах агроэкосистем Каменского района в зоне ВУРСа показали, что в малогумусных дерново-подзолистых и светло-серых лесных почвах в 1957-1987 г.г. при существующем тогда уровне агротехники складывался отрицательный баланс гумуса. Причем, максимальным (-0.36т/га в год) он был под культурами зернопропашного севооборота, а минимальным (-0.08т/га в год) - зерно-травяного. В высокогумусных почвах (черноземных, лугово-черноземных) отрицательный баланс гумуса наблюдался лишь под культурами зернопропашного севооборота (-0.20т/га в год или 0.009% в год). В рассматриваемых почвах под другими севооборотами складывался нулевой, а в ряде случаев и положительный баланс.

Отметим, что отрицательный баланс в группе серых, темно-серых и черноземных почв оказался в 2 раза меньшим, чем в группе малогумусных дерново-подзолистых и светло-серых почв, что обусловлено более высокими коэффициентами гумификации в этих почвах органических удобрений, большим ежегодным поступлением растительных остатков за счет повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. В почвах с кормовыми сенокосно-пастбищными севооборотами процессов дегумификации в 1957÷87 г.г. не наблюдалось вообще.

Анализ современной системы земледелия показал, что при сохранении существующей агротехники в ближайшие 10 лет пахотные почвы потеряют гумуса от 0.15 до 0.03%. Причем под влиянием эрозионных процессов потери гумуса возрастут и достигнут 20-30% от исходного. Возделывание пропашных культур даже на очень пологих склонах интенсифицирует эрозионные процессы, и чем ниже гумусированность почвы, тем меньше водопрочность почвенных агрегатов и выше эрозионные потери почвы. К эрозионным потерям гумуса почвой следует приплюсовать и вынос с поля гумусированной почвы с основной продукцией (корнеплодами, картофелем).

Анализ данных двух туров (1983 и 1988 г.г.) почвенного обследования совхоза «Родина» Каменского района позволил оценить степень дегумификации почв в этом хозяйстве и определить площади, охваченные рассматриваемым процессом. Объем выборки аналитических данных по содержанию гумуса составил 120 пар, причем каждая пара данных характеризовала полевой массив известной площади.

Математическая обработка данных показала, что на 30% площади произошло снижение содержания гумуса на 1.25% или на 0.25% ежегодно, на 10% территории хозяйства баланс гумусовых

веществ был нулевым, а на оставшейся площади — происходило увеличение содержания органических веществ в почве. Установленный уровень убыли гумуса в соответствии с принятыми критериями позволил считать, что 1/3 площади совхоза попадает в категорию земель «зоны экологического бедствия» (Критерии оценки..., 1992).

К этому нужно добавить, что за последние три года известкование почв в Свердловской области сократилось на треть, заготовка торфа и внесение органических удобрений — в два раза, внесение минеральных удобрений составляет лишь 30-50% потребности. Фактически не получают подкормку естественные сенокосы и пастбища. Дефицитный баланс питательных веществ в полевых севооборотах привел к увеличению площадей пашни с низким содержанием фосфора и, что особенно важно для закрепления цезия-137 в почвах, калия.

ГЛАВА 6

УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ И ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ

В комплексе работ, связанных с изучением особенностей поведения радионуклидов на загрязненных территориях, существенное место отводится радиоэкологическим исследованиям почвенно-растительного покрова. Именно почвенно-растительный покров является первым экраном на пути поступления радиоактивных веществ различного генезиса на земную поверхность. Почвы, в которых совершаются процессы деструкции и вторичного синтеза огромного количества вещества биогенной природы, а также различного рода биогеохимические и биоэнергетические превращения, становятся основным депо радионуклидов в наземной среде (Тимофеев-Ресовский, 1962; Алексахин, 1982; Молчанова, 1991).

Многообразие ландшафтно-геохимических условий, комплексность и пестрота почвенно-растительного покрова обследуемой торритории ВУРСа обуславливают разнонаправленность миграционных процессов и перераспределение радионуклидов в основных компонентах различных типов природных и агроэкосистем.

6.1 Содержание радионуклидов в лесных почвах.

Почвы лесных экосистем обладают целым рядом специфических черт и свойств, которые определяют особенности их радиационного загрязнения. Они обусловлены прежде всего азотно-кальциевым типом круговорота веществ в лесных экосистемах, который характеризуется высоким уровнем накопления биофильных элементов, наличием многолетних циклов и автономностью круговорота химических элементов. В результате этого лесные экосистемы оказывают наиболее существенное влияние на аккумуляцию, фиксацию и интегральный баланс радионулидов на загрязненных территориях. При радиоактивном загрязнении среды часть радионуклидов аккумулируется в древесине и на многие годы выключается из биологического круговорота (Тихомиров, 1993; Санников и др., 1994), другая — поступает ежегодно с опадом и формирует лесную подстилку (ветки, сучья, шишки, хвоя — листья, напочвенный покров).

Каждый функциональный компонент лесного биогеоценоза накладывает определенный отпечаток на накопление и перераспределение радионуклидов в нем. Исследованиями показаны особенности распределения радионуклидов по компонентам лесных древостоев (ветви, сучья, хвоя, древесина) в зоне ВУРСа (Тихомиров, 1993), их содержание в эпифитных лишайниках (Бязров и др., 1993). Выявлена зависимость накопления в грибах радионуклидов от содержания их в подстилках (Кожевников и др., 1993; Мухин, 1993).

Полученные нами данные (табл. 19) показывают, что максимальная концентрация радионуклидов приурочена к верхней 10-ти сантиметровой толще почвы, преимущественно к горизонтам А0 и А0А1. В гумусово-аккумулятивном горизонте наблюдается резкое (в 5-10 раз) ее снижение для стронция-90 и более плавное для цезия-137.

По содержанию радионуклидов в нижней части профиля все сравниваемые разрезы практически не отличаются, и здесь количества стронция-90 и цезия-137 выравниваются.

В лесных почвах оси следа вблизи озер Тыгиш и Червяное (разрезы 2Ф, 8Ф, 11Ф, 51Ф, 251Ф) наблюдается более высокая концентрация радионуклидов, чем за пределами следа (разрезы (18Ф, 81Ф). Однако даже в пределах оси следа концентрация радионуклидов в почве, а также содержание их в пересчете на единицу площади варьируют в значительной мере. Так концентрация ^{90}Sr в верхнем 10 см почвенном слое (включая лесную подстилку) изменяется от 200 до 640 Бк/кг, а уровень площадного загрязнения от 2.2 до 62 кБк/м2. Соответствующие величины для ^{137}Cs от 20 до 560 Бк/кг и от 0.4 до 21 кБк/м2. Обращает внимание довольно высокая до (600 Бк/кг) концентрация ^{90}Sr в слое лесной подстилки. Однако из-за низкого ее удельного веса вклад этого компонента в общее площадное загрязнение почвенного профиля невелик. В отличие от стронция-90 максимальные концентрации цезия-137 смещены на глубину 3-10 см.

Эти различия определяются как неравномерностью (мозаичностью) первичного загрязнения территории, так и ландшафтным положением лесов. В березовом колке, расположенном в блюдце-западине среди пашни (разрез 11Ф), очевидно обеспечивается поступление радионуклидов с повышенных элементов рельефа, что в совокупности с экранирующей ролью леса и особенностями круговорота определяет относительно высокую плотность загрязнения (по стронцию-90 — 0.78-1.25 Ки/км2 в А0А1) серой глеевой почве. В условиях избыточного увлажнения создается возможность миграции радионуклидов. Значительные их количества проникают на глубину, превышающую 10 см.

Таблица 19

Содержание радионуклидов в лесных почвах.

NN разрезов	Глубина, см	Бк/кг		кБк/м2		Ки/км^2		^{90}Sr/^{137}Cs
		^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2Ф	0 - 3	206	56	1.4	0.4	0.01	0.04	3.7
	3 - 10	269	20	17.9	1.3	0.03	0.48	13.5
	10 - 20	52	23	5.6	2.5	0.06	0.15	2.3
	20 - 35	31	21	5.4	3.7	0.10	0.14	1.5
	35 - 46	19	21	4.3	3.1	0.08	0.11	0.9
	46 - 55	32	23	4.3	3.1	0.08	0.11	1.3
	60 - 70	22	22	3.4	3.4	0.09	0.09	1.0
	75 - 83	22	22	2.7	2.7	0.07	0.07	1.0
	85 - 95	84	22	14.0	3.7	0.10	0.37	3.8
8Ф	0 - 3	221	45	2.2	0.4	0.01	0.06	4.9
	3 - 10	420	564	11.8	15.8	0.42	0.31	0.7
	10 - 20	48	38	5.5	4.4	0.11	0.14	1.2
	21 - 30	42	28	5.5	3.6	0.09	0.14	1.5
	30 - 40	44	23	6.0	3.1	0.04	0.16	1.9
	40 - 50	22	17	3.6	2.8	0.07	0.09	1.3
	80 - 90	29	29	3.3	3.3	0.08	0.08	1.0
	90 -100	23	23	3.0	4.0	0.10	0.08	1.0
	100 -110	22	22	3.6	9.6	0.25	0.09	1.0
11Ф	0 - 3	600	54	4.3	0.4	0.01	0.11	11.1
	3 - 12	531	389	29.1	21.3	0.57	0.78	1.3
	12 - 22	473	96	46.3	9.4	0.25	1.25	4.9
	22 - 30	65	20	7.8	2.4	0.06	0.21	3.2
	30 - 40	22	26	3.0	3.5	0.09	0.08	0.8
	40 - 65	52	20	10.5	4.0	0.10	0.28	2.6
251Ф	0 - 3	416	621	2.1	3.2	0.09	0.06	0.7
	3 - 13	640	83	62.1	8.0	0.22	1.68	7.6
18Ф	0 - 2	99	25	0.6	0.1	0.002	0.016	3.9
	2 - 14	63	16	8.3	2.1	0.05	0.22	3.9
	14 - 25	25	23	4.1	3.8	0.10	0.11	1.1

(продолжение таблицы 19)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	25 - 35	37	24	4.8	3.1	0.08	0.12	1.5
	35 - 45	17	17	2.5	2.5	0.06	0.06	1.0
	45 - 55	80	23	11.7	3.3	0.09	0.31	3.5
	70 - 80	63	20	9.4	3.0	0.08	0.25	3.1
	90 - 95	28	22	2.0	1.6	0.04	0.05	1.3
81Ф	0 - 3	165	466	3.6	10.2	0.28	0.10	0.4
	10 - 20	17	41	1.3	3.1	0.08	0.03	0.4
51Ф	0 - 3	197	167	6.3	5.3	0.14	0.17	1.2
	3 - 10	157	38	15.4	3.7	0.10	0.42	4.2

Высокая плотность загрязнения (1.68 Ки/км2) обнаружена также в почве (разрез 251Ф) под пологом березового леса, приуроченного к вершине высокого коренного берега реки Каменка, играющего важную экранирующую роль.

Определение отношения $^{90}Sr/^{137}Cs$ показывает, что стронций-90 как правило превалирует над цезием-137, особенно в верхних горизонтах, в том числе и в лесной почве вне следа.

Причиной высокой концентрации радионуклидов в верхней части профиля в лесных экосистемах и преимущественное накопление стронция-90 являются особенности биокруговорота веществ. Под пологом спелых и приспевающих березняков (Мещеряков, 1988, 1990), основная масса живых корней лесной растительности (85-90%) сконцентрирована в горизонтах А0, А1, А1А2, а далее вглубь почвенного профиля биомасса подземных органов резко уменьшается. Основная масса корней травянистых растений сосредоточена в лесной подстилке и верхней части А1, однако их доля в структуре запасов живых подземных органов невелика (10-15%). Учитывая значительный запас подземной фитомассы в лесных экосистемах (40-80 т/га) и очень высокую корненасыщенность верхней части профиля, можно представить массу живых корней лесных растений как уникальный биологический экран на пути мигрирующих по профилю радионуклидов. Высвобождающиеся при разложении лесной подстилки радионуклиды тут же поглощаются тонкими всасывающими корешками и вновь вовлекаются в биологический круговорот.

Преимущественной концентрацией радионуклидов, в особенности ^{90}Sr, в верхней части профиля способствует и химический состав опада, в структуре которого даже в сосновых лесах этого региона, до 60% от общей массы зольных веществ приходится на кальций (Фирсова, Павлова, 1983; Фирсова, Павлова, Дедков, 1990), являющийся химическим аналогом ^{90}Sr.

Выяснение зависимостей накопления и перераспределения радионуклидов от свойств лесных почв оказывается даже более сложным, чем в почвах агроценозов, ибо вычленение отдельных факторов весьма затруднительно, поскольку все изучаемые свойства лесных почв тесно связаны между собой и степень влияния каждого из них зависит от влияния всего природного комплекса. Рассчитанные коэффициенты корреляции для почв лесных фитоценозов показали (табл. 20) наличие положительной коррелятивной зависимости между следующими показателями: содержанием гумуса и радиоцезием, радиостронцием (r=0.42 и r=0.71, соответственно), азотом (r=0.43 и 0.62), емкостью катионного обмена (r=0.41 и 0.67), K_2O (r= 0.44 и 0.68), P_2O_5 (r=0.26 и 0.55). Отрицательная взаимосвязь наметилась между содержанием подвижного железа и рассматриваемыми радионуклидами. Для ^{137}Cs коэффициент корреляции составил — 0.25 и для ^{90}Sr — (-0.22).

Таким образом для почвенного покрова и лесных экосистем в целом характерно наличие определенного запаса радионуклидов, аккумулированного преимущественно в лесной подстилке и гумусовом горизонте профиля. Учитывая относительно невысокие темпы деструкции опада древесных пород, образующего подстилку, а также то, что сам древесный ярус накапливает значительные объемы радионуклидов, где они и будут сохранены долгие годы, в почвенном покрове лесных экосистем следует ожидать более длительное, чем в почвах агроэкосистем, сохранение радионуклидов.

Для лесных почв отмечена значительная вариабельность и мозаичность загрязнения радионуклидами, однако она не мешает сделать вывод о некотором снижении степени загрязнения почв в направлении от оси следа к периферии.

Нижние генетические горизонты почв лесных экосистем содержат в основном небольшое количество радионуклидов, поскольку значительная их часть, мигрирующая вниз по профилю, поглощается подземными органами растений, вовлекается в биологический круговорот и на долгие годы либо депонируется в древесине стволовой части, либо вновь поступает на поверхность почвы.

Таблица 20

Коэффициенты корреляции для почв естественных фитоценозов

Почвенные показатели	Радионуклиды n		^{90}Sr	^{137}Cs
Гумус	21	r	0.7068	0.4180
		p	0.0003	0.0594
Азот	15	r	0.6255	0.4373
		p	0.0126	0.1031
pH	21	r	0.0660	-0.0108
		p	0.7763	0.9628
Емкость катионного обмена	19	r	0.6701	0.4090
		p	0.0017	0.0821
Fe_2O_3 (подвижное)	21	r	-0.2196	-0.2520
		p	0.3388	0.2705
Ca^{2+} (поглощенный)	21	r	0.3950	0.2451
		p	0.0761	0.2842
CaO (валовой)	21	r	0.3336	0.0819
		p	0.1395	0.7241
K_2O (подвижный)	21	r	0.6806	0.4403
		p	0.0007	0.0457
P_2O_5 (подвижный)	21	r	0.5492	0.2640
		p	0.0099	0.2475

n - объем выборки;

r - коэффициент корреляции;

p - вероятность того, что истинный коэффициент корреляции равен нулю;

0.5492 - коэффициент корреляции достоверен.

Таблица 21

Концентрация и плотность загрязнения радионуклидами пахотного горизонта почв совхоза «Родина» (в слое 0–10 см)

NN разр.	Бк/кг ^{137}Cs	Бк/кг ^{90}Sr	Бк/м2 ^{137}Cs	Бк/м2 ^{90}Sr	Ки/км2 ^{137}Cs	Ки/км2 ^{90}Sr	^{90}Sr / ^{137}Cs
1	2	3	4	5	6	7	8
			Зона 1				
2T	5	43	571	4438	0.02	0.12	6.0
5T	44	111	4799	12256	0.13	0.33	2.5
9T	22	112	2486	12932	0.07	0.35	5.0
11T	47	94	5119	10337	0.14	0.28	2.0
12T	34	88	4166	10933	0.11	0.29	2.6
13T	21	127	2268	13972	0.06	0.38	6.3
16T	17	112	1823	13844	0.05	0.37	6.6
17T	23	142	3193	19933	0.09	0.54	6.0
18T	23	121	2890	14967	0.08	0.40	5.0
50T	48	139	5531	15957	0.15	0.46	2.9
23T	14	69	1764	8550	0.15	0.23	4.6
24T	17	47	1975	5432	0.05	0.15	3.0
26T	16	86	1886	9905	0.05	0.27	5.4
28T	18	70	2024	8092	0.05	0.22	4.4
29T	19	65	1766	7338	0.05	0.20	4.0
			Зона 2				
31T	15	23	1619	2511	0.04	0.07	1.7
33T	13	22	1608	2761	0.04	0.07	1.7
34T	34	38	3915	4404	0.10	0.12	1.2
36T	32	37	3709	4239	0.10	0.11	1.1
37T	36	14	4145	1552	0.11	0.04	0.4
39T	24	27	2781	3090	0.07	0.08	1.1
41T	48	36	5549	4187	0.15	0.11	0.7
42T	26	28	2979	3192	0.08	0.09	1.1
43T	50	37	5698	4301	0.15	0.12	0.8
44T	46	19	5331	2132	0.14	0.06	0.4
45T	35	57	4021	6584	0.11	0.18	1.6
46T	28	73	3180	8418	0.08	0.23	2.8
47T	49	41	5691	4743	0.15	0.13	0.9
			Зона 3				
51T	35	22	4002	2501	0.11	0.07	0.6
52T	30	22	3503	2501	0.09	0.07	0.8
54T	48	26	5466	3036	0.15	0.08	0.5

(продолжение таблицы 21)

1	2	3	4	5	6	7	8
55T	49	22	4694	2552	0.13	0.07	0.5
57T	48	33	5561	3743	0.15	0.10	0.7
59T	16	11	1855	1305	0.05	0.03	0.6
61T	40	19	4548	2165	0.01	0.06	6.0
64T	33	22	3814	2578	0.10	0.07	0.7
67T	45	27	5217	3130	0.14	0.08	0.6
70T	37	60	4262	6926	0.11	0.19	1.7
57T	48	33	5561	3743	0.15	0.10	0.7
59T	16	11	1855	1305	0.05	0.03	0.6
61T	40	19	4548	2165	0.01	0.06	6.0
64T	33	22	3814	2578	0.10	0.07	0.7
67T	45	27	5217	3130	0.14	0.08	0.6
70T	37	60	4262	6926	0.11	0.19	1.7

6.2 Содержание радионуклидов в пахотных почвах.

Учитывая большое участие пахотных земель в почвенном покрове рассматриваемой территории, и особую их роль в пищевых цепочках, они были подробно изучены как с точки зрения пространственного, так и профильного изменения содержания радионуклидов. Одним из основных объектов обследования был пахотный фонд земель совхоза «Родина», расположенного в южной части Каменского района по границе с Челябинской областью. Центральная часть территории совхоза, прилегающая к озерам Тыгиш, Червяное, Б. и М. Сунгуль отличается наиболее высокой плотностью загрязнения («ось следа»), по сравнению с западной и восточной частями («периферия следа»).

Как видно из проведенных исследований (табл. 21) в пределах «оси следа» (южная часть территории совхоза) содержание ^{90}Sr колеблется в слое 0-10 см от 88 до 142 Бк/кг, а количества ^{137}Cs от 16 до 48 Бк/кг, а на его периферии — от 11 до 60 и от 16 до 49 соответственно.

Полученные данные (рис. 11) позволяют провести зонирование территории совхоза «Родина», исходя из современной плотности радиоактивного загрязнения. Выделено три радиоактивных зоны.

Зона 1 — южная часть (по «оси следа») территории от границы с Челябинской областью до южной границы оз. Б. Сунгуль и водораздельное пространство между озерами Тыгиш — Червяное — Б. Сунгуль. Здесь содержание ^{90}Sr достигает наиболее высо-

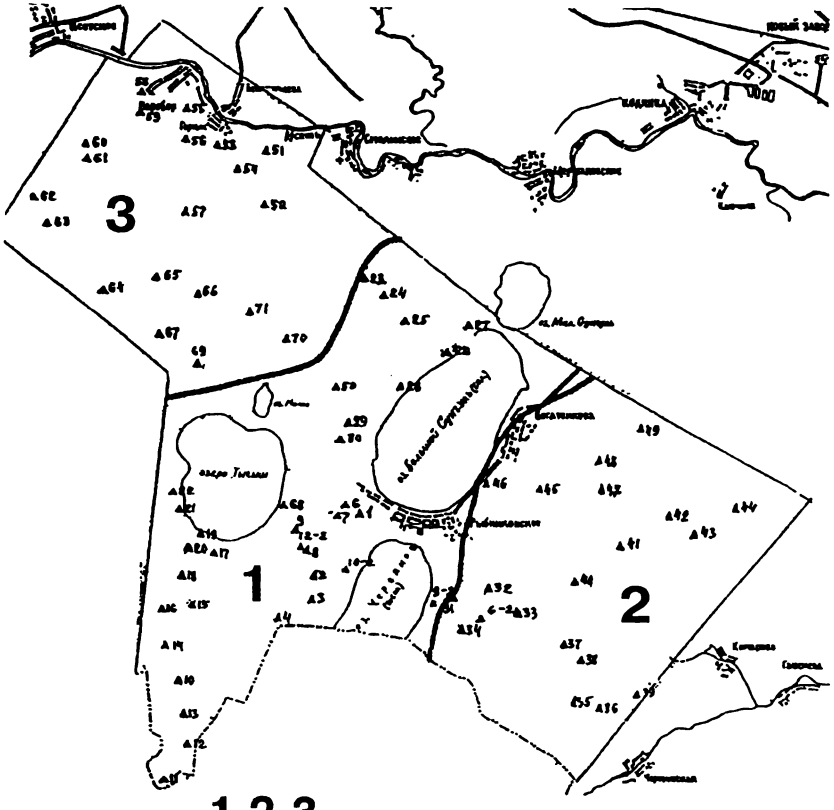


Рис. 11. Зонирование территории совхоза «Родина»

ких значений — до 142 Бк/кг, а плотность загрязнения — 0.54 Ки/км2. Отличает эту территорию резкое доминирование стронция-90 над цезием-137.

Зона 2 — территория, расположенная восточнее озер Червяное и Б. Сунгуль. Здесь максимальное значение содержания стронция-90 составляет 79 Бк/кг. Плотность загрязнения колеблется около 0.1 Ки/км2. Кроме того в этой зоне снижается величина отношения $^{90}Sr/^{137}Cs$.

Зона 3 занимает северо-западную часть совхоза, ограниченную рекой Исеть, где наблюдаются наименьшие для территории

совхоза показатели содержания стронция-90 (от 11 до 60 Бк/кг) и $^{90}Sr/^{137}Cs$=0.5-1.7. Содержание ^{137}Cs и плотность загрязнения им пахотных угодий несколько выше, чем в зоне 1 и 2.

Как видно из приведенных в таблице 21 данных колебания всех перечисленных показателей, несмотря на то, что сравниваемые разрезы почв расположены в пределах одной зоны, значительны (в 3 и более раз), что свидетельствует о неравномерности как поступления, так и перераспределения загрязнителей. Несомненное влияние на эти процессы оказывают и параметры почвенного плодородия.

Анализ литературных источников (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1991; Мамонтова, 1977; Молчанова, 1991 и другие) позволяет констатировать факт достаточно полного изучения влияния различных почвенных свойств на уровень содержания в почвах природных и техногенных радионуклидов. Установленные корреляционные взаимозависимости между наиболее значимыми показателями некоторых почвенных свойств (гумус, азот, pH, емкость катионного обмена, содержание валовых и подвижных форм некоторых элементов) и накапливающимися в почвах радиоцезием и радиостронцием количественно весьма широки и авторы отмечают необходимость уточнения коэффициентов корреляции в каждом конкретном случае.

С целью определения тесноты связи между накоплением ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвенном покрове и рядом почвенных параметров агроценозов зоны ВУРСа в границах Каменского района был выполнен корреляционный анализ. Объем выборки достаточно велик (n=33) и в нее были включены исключительно пахотные почвы агроценозов. Из данных таблицы 22 видно, что наиболее тесную коррелятивную зависимость концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs обнаруживает с емкостью катионного обмена (r=0.55 и r=0.43 для ^{90}Sr и ^{137}Cs соответственно), подвижным калием (r=0.63 и 0.55), поглощенным кальцием (r=0.52 и 0.38). Между величиной pH и концентрацией в почве радиостронция и радиоцезия наметилась обратная, то есть отрицательная, зависимость. Достоверно значимая зависимость зафиксирована для содержания в почвах валового азота, подвижных форм железа и радиостронция. Полученные коэффициенты корреляции оказались очень низкими и рассматриваемая взаимосвязь не может считаться статистически достоверной.

Однако, полученные нами данные не подтвердили тесной коррелятивной зависимости между содержанием гумуса и концентрацией в пахотных почвах зоны ВУРСа радиостронция и радиоцезия. Коэффициенты корреляции составили для ^{90}Sr — 0.28 и для ^{137}Cs — 0.29. Причиной тому послужил, очевидно, высокий

Таблица 22

Коэффициенты корреляции (пахотные почвы агроценозов)

Радионуклиды Почвенные показатели	n		^{90}Sr	^{137}Cs
Гумус	33	r	0.2842	0.2874
		p	0.1090	0.1048
Азот	33	r	0,4518	0.2344
		p	0.0083	0.1891
pH	33	r	-0.1228	-0.2147
		p	0.4959	0.2303
Емкость катионного обмена	33	r	0,5536	4336
		p	0.0008	0.0117
Fe_2O_3 (подвижное)	32	r	-0.0774	4381
		p	0.0121	0.6739
Ca^{2+} (поглощенный)	33	r	0,5247	3829
		p	0.0017	0.0279
CaO (валовой)	33	r	0.2180	-0.0262
		p	0.2228	0.8848
K_2O (подвижный)	33	r	0,6315	5534
		p	0.0001	0.0008
P_2O_5 (подвижный)	33	r	0.2655	0.0584
		p	0.1354	0.7468

n - объем выборки;

r - коэффициент корреляции;

p - вероятность того, что истинный коэффициент корреляции равен нулю;

0,5534 - коэффициент корреляции достоверен.

удельный вес в объеме выборки пахотных почв — почв с тяжелым гранулометрическим составом и средними (по критериям Орлова, Гришиной, 1981) содержанием и запасами гумусовых веществ в пахотном горизонте. Очевидно в таких почвах вклад органического вещества в общую емкость поглощения радионуклидов менее значим. Кроме того, ежегодное оборачивание почвенного пласта привело к более глубокому перемещению по профилю радионуклидов и их большей, по сравнению с целинными и необрабатываемыми почвами агроценозов, концентрации в нижних слоях Апах или верхней части подпахотной толщи профиля.

Увеличение объема выборки до 54 за счет включения в нее почв других сельскохозяйственных угодий (пастбища, сенокосы, выгоны) позволило несколько конкретизировать рассматриваемые выше зависимости.

Данные таблицы 23 свидетельствуют о более тесной, чем было отмечено выше для пахотных почв, зависимости между содержанием гумуса и концентрацией в почве ^{90}Sr (r=0.39), а для ^{137}Cs коэффициент корреляции остался практически без изменений. Также возросли коэффициенты корреляции между содержанием азота и концентрацией в почве радиоцезия и радиостронция. Практически не изменились коэффициенты корреляции для емкости катионного обмена и подвижного калия. Отмечено закономерное, как обусловленное органическим веществом, проявление достаточно тесной взаимосвязи между содержанием P_2O_5 и ^{90}Sr.

Все рассмотренные выше данные позволяют конкретизировать, применительно к территории ВУРСа, известные зависимости между отдельными почвенными параметрами и концентрацией в почве радионуклидов и дать сравнительную количественную оценку роли различных показателей почвенного плодородия в определении радиационной обстановки на землях сельскохозяйственных угодий Каменского района.

Наряду с изучением пространственного варьирования концентрации радионуклидов в пахотных почвах проведена оценка профильного их изменения, а также сделан расчет запасов для корнеобитаемого слоя (50 см) и относительного послойного количества (в % от суммарного в слое 50 см).

Как видно из данных (табл. 24) основное количество радионуклидов содержится в пахотном слое. Тем не менее сам пахотный горизонт неоднороден, то есть имеет место несколько более высокая их концентрация не в слое 0-10 см, а — 20-30 см (на плужной поверхности). Значительные колебания концентрации радионуклидов на глубине 40-50 см обусловлены прежде всего различной водопроницаемостью почв.

Таблица 23

Коэффициенты корреляции для почв естественных фитоценозов

Радионуклиды Почвенные показатели	n		^{90}Sr	^{137}Cs
Гумус	54	r	0.3942	0.2732
		p	0.0032	0.0456
Азот	48	r	0.4846	0.3161
		p	0.0005	0.0286
pH	54	r	-0.0128	-0.0876
		p	0.9267	0.5288
Емкость катионного обмена	52	r	0.5388	0.4125
		p	0.0000	0.0024
Fe2O3 (подвижное)	53	r	0.1496	0.1748
		p	0.2850	0.2106
Ca^{2+} (поглощенный)	54	r	0.3622	0.2830
		p	0.0071	0.0381
CaO (валовой)	54	r	0.2435	0.0385
		p	0.0761	0.7824
K_2O (подвижный)	54	r	0.6438	0.4417
		p	0.0000	0.0008
P_2O_5 (подвижный)	54	r	0.3654	0.1093
		p	0.0066	0.4313

n - объем выборки;

r - коэффициент корреляции;

p - вероятность того, что истинный коэффициент корреляции равен нулю;

0.4417 - коэффициент корреляции достоверен.

Таблица 24

Содержание радионуклидов в профиле почв (Бк/кг)

NN разреза	2T		7T		11T		17T		23T		31T		55T	
Глубина, см	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	90Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
0-10	5.49	42.68	-	70.46	46.54	93.97	22.81	142.38	14.23	68.95	14.72	22.83	40.82	22.19
10-20	9.76	34.08	21.79	51.72	23.22	59.40	22.10	82.39	16.61	76.71	21.65	37.67	47.85	17.40
20-30	7.00	21.78	-	-	32.40	99.00	-	-	-	-	-	-	26.70	26.70
30-40	0.11	5.58	11.02	40.79	18.00	40.50	-	-	2.13	25.17	7.36	8.71	18.29	13.71
40-50	0.54	0.54	9.35	19.68	18.30	27.45	1.53	0.34	7.69	13.87	9.85	6.02	55.60	13.90

Исходя из почвенно-генетических концепций в пределах рассматриваемой территории совхоза «Родина» в «осевой» зоне ВУРСа проведено определение концентрации радионуклидов в профиле серой лесной пахотной почвы до глубины 115 см (разрез 10Ф; табл. 25). Содержание ^{90}Sr колеблется по горизонтам от 61 до 208 Бк/кг, причем наибольшее количество этого радионуклида определено на глубине 20-30 см и 90-100 см, то есть в подпахотном горизонте и нижней части иллювиального глеевого горизонта. Таким образом, экранирующее влияние на распределение ^{90}Sr оказывает как плужная поверхность, так и слабо водопроницаемый глеевый горизонт на контакте с почвообразующей породой.

Итак в определенных экологических условиях (в данном случае при избыточном увлажнении) возможна глубокая миграция радиостронция вниз по почвенному профилю. Между тем концентрация ^{137}Cs довольно стабильна по профилю. Расчет относительных запасов (табл. 25, рис. 12) показывает, что в пределах слоя 65 см основная масса радионуклидов — 34 и 29% приходится на слои 20-30 и 45-65 см соответственно. Плотность загрязнения по ^{90}Sr оставляет на этих глубинах 0.6-0.7 Ки/км^2.

Разрез 6Ф также заложен на территории этого совхоза, но в восточной периферийной его части на серой лесной пахотной почве. Согласно полученным данным в этом почвенном разрезе можно констатировать высокое абсолютное (73 Бк/кг) и относительное (29%) содержание стронция-90 на глубине 20-30 см.

Аналогичное распределение по почвенному профилю обнаружено в черноземах выщелоченных (разрезы 9Ф, 11Ф, 22Ф), где также можно констатировать более высокое абсолютное и относительное количество радиостронция не в поверхностном слое, а на глубине 16-23 см (табл. 25,рис. 13, 14).

Чернозем слабовыщелоченный (разрез 13Ф) отличается от других сравниваемых почв очень высоким содержанием ^{90}Sr (264 Бк/кг) в нижней (80-115 см) карбонатной части профиля вдвое большим, чем в пахотном горизонте.

Интересные данные получены для чернозема выщелоченного (разрез 24Ф, рис 13), который расположен в западной периферии ВУРСа на левобережье реки Исеть, село Щербаковка), где выявлено сравнительно высокое содержание ^{90}Sr в толще почвы 40 см. Исходя из данных по составу органического вещества почв высказано предположение (Глава 5), что здесь было проведено послеаварийное известкование, в результате чего происходит «консервация» стронция-90.

Таким образом, пахотные почвы значительно отличаются от целинных лесных по профильному распределению содержания

Таблица 25

Содержание радионуклидов в пахотных почвах.

NN разрезов	Глубина, см	Бк/кг		кБк/м2		Ки/км2		% от запаса в слое 0-50 см	
		^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10Ф	0 - 10	19	67	2.4	8.6	0.1	0.2	13	10
	10 - 20	19	75	2.5	9.8	0.1	0.3	14	12
	20 - 30	19	176	3.0	27.9	0.1	0.7	16	34
	30 - 45	20	61	4.0	12.3	0.1	0.3	22	15
	45 - 65	22	81	6.4	23.6	0.2	0.6	35	29
	65 - 80	21	101	5.0	24.4	0.1	0.7		
	90 -100	22	208	3.4	32.4	0.1	0.9		
	105 -115	25	101	3.8	15.2	0.1	0.4		
Запасы в слое 0-65 см			18.3	82.2					
6Ф	0 - 7	21	65	1.9	5.9	0.05	0.16	10	16
	7 - 14	20	28	2.2	3.1	0.06	0.08	11	9
	14 - 25	27	61	4.6	10.5	0.12	0.28	24	29
	25 - 30	43	73	3.4	5.9	0.09	0.16	17	17
	30 - 40	22	43	3.5	6.9	0.09	0.19	18	19
	40 - 50	21	21	3.6	3.6	0.10	0.10	19	10
	60 - 70	22	22	3.2	3.2	0.09	0.09		
	80 - 95	24	25	3.7	3.9	0.10	0.10		
	95 - 105	23	32	3.6	5.1	0.10	0.14		
Запасы в слое 0-50 см			19.2	35.9					

(продолжение таблицы 25)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9Ф	0 - 8	47	116	4.2	10.5	0.1	0.3	21	20
	8 - 16	27	33	2.3	2.8	0.1	0.1	11	5
	16 - 23	29	151	2.7	14.1	0.1	0.4	13	27
	23 - 30	35	127	3.5	12.8	0.1	0.3	17	25
	30 - 34	23	20	1.1	1.0	0.03	0.03	5	2
	34 - 44	21	21	2.9	2.9	0.1	0.1	15	6
	44 - 57	19	43	3.5	7.9	0.1	0.2	18	15
	65 - 75	18	18	2.6	2.6	0.1	0.1		
	85 - 95	22	41	3.6	6.6	0.1	0.2		
	100 - 117	20	39	5.0	9.7	0.1	0.3		
Запасы в слое 0-57 см			19.5	52.0					
13Ф	0 - 8	39	132	2.7	9.1	0.07	0.25	14	27
	8 - 16	62	79	4.6	5.9	0.12	0.16	25	18
	16 - 25	41	109	3.3	8.9	0.09	0.24	18	26
	25 - 35	24	60	2.9	7.4	0.08	0.20	16	22
	35 - 45	40	20	5.1	2.5	0.07	0.07	27	7
	45 - 65	22	60	3.0	8.4	0.08	0.23		
	80 - 90	21	264	3.1	39.3	0.08	1.06		
	105 - 115	165	238	23.9	34.5	0.65	0.93		
Запасы в слое 0-45 см			18.6	33.8					
22Ф	0 - 12	26	36	4.0	5.6	0.11	0.15	22	17
	12 - 25	39	76	6.6	12.8	0.18	0.35	37	40

(продолжение таблицы 25)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	25 - 33	14	40	1.5	4.3	0.04	0.12	8	13
	33 - 50	26	43	5.8	9.6	0.16	0.26	33	30
Запасы в слое 0-50 см			17.9	32.3					
6Ф	0 - 12	39	128	5.1	16.9	0.14	0.46	32	30
	12 - 25	25	117	3.3	15.7	0.09	0.42	20	26
	25 - 37	28	125	3.4	15.1	0.09	0.41	21	25
	37 - 50	20	72	2.8	10.1	0.08	0.27	18	17
	50 - 55	23	23	1.5	1.5	0.04	0.04	9	2
Запасы в слое 0-50 см			16.1	59.3					

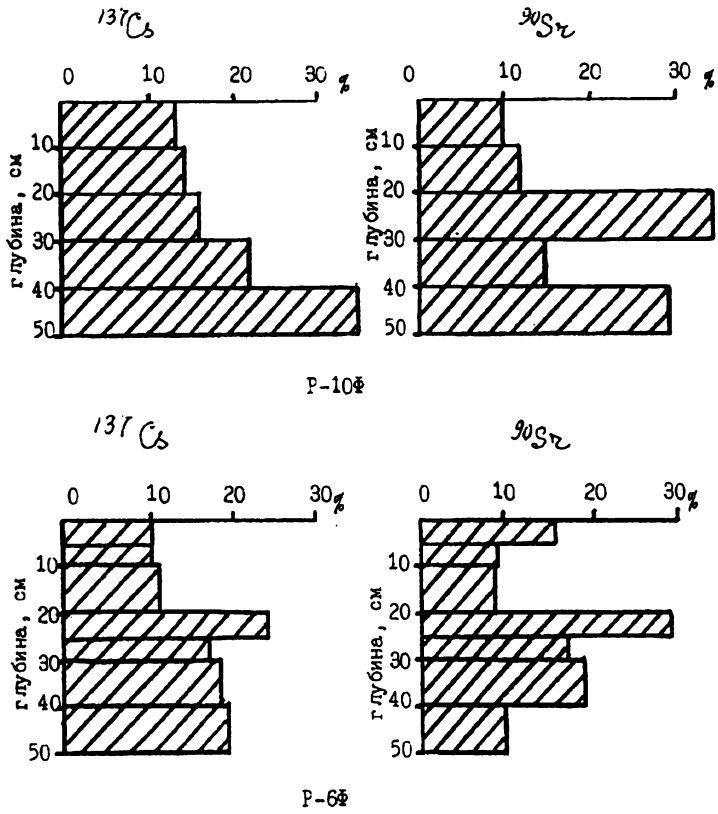


Рис. 12. Профильное распределение запасов радионуклидов (в % от суммарного в слое 0-50см)

радионуклидов. Верхняя часть пахотного слоя концентрирует их меньше, чем нижняя, что определяется «разорванностью» биологического круговорота (отчуждением с урожаем) и антропогенным регулированием емкости и состава элементов, вовлекаемых в круговорот. Дифференциация почвенного профиля выражена отчетливо по содержанию стронция-90 и слабо проявляется по количеству цезия-137. Большую роль в закреплении радиостронция играет кальций, обусловливая при известковании закрепление его в верхней части профиля, и при близком залегании карбонатов — в нижней части профиля.

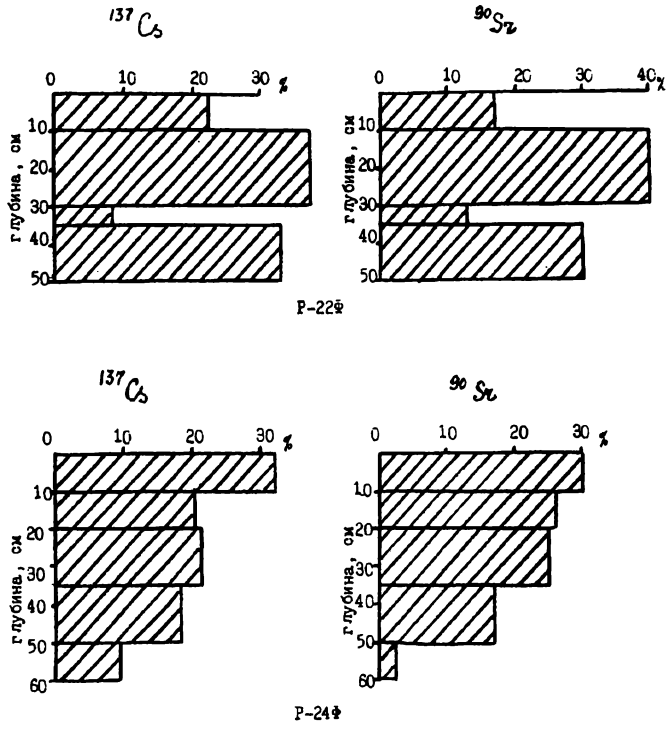


Рис. 13. Профильное распределение запасов радионуклидов (в % от суммарного в слое 0-50см)

6.3 Содержание радионуклидов в дерново-луговых почвах

Как отмечалось выше, в ходе проведения работ были особо выделены разновидности луговых почв, характеризующихся высокой степенью увлажнения и приуроченных к береговой зоне озер Тыгиш, Б.Сунгуль и Червяное, а также к поймам рек Исеть и Каменка. Гидроморфные условия почвообразования и геоморфология береговой зоны озер способствуют формированию ландшафтно-геохимических барьеров, на которых аккумулируются многие макроэлементы, тяжелые металлы и радионуклиды (Тюрю-

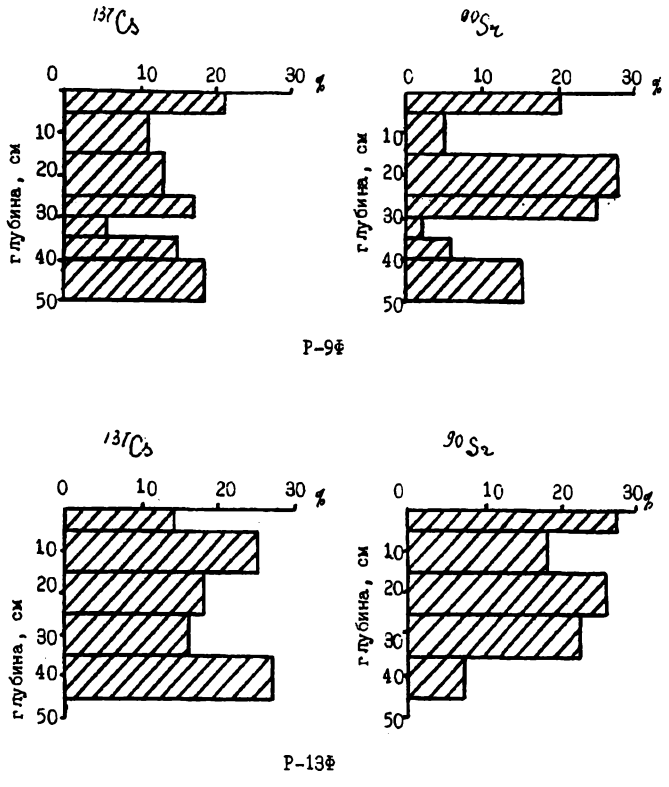


Рис. 14. Профильное распределение запасов радионуклидов (в % от суммарного в слое 0-50см)

канова, 1974, 1976; Молчанова, Куликов, 1970; Ильин и др., 1991). В то же время близкий к поверхности уровень залегания грунтовых вод и сезонное переувлажнение почв могут менять параметры миграции радионуклидов (Караваева и др., 1979; Куликов и др., 1990). С учетом этих обстоятельств была проведена оценка уровней содержания и вертикального распределения долгоживущих радионуклидов в луговых почвах вблизи поименованных выше озер. Обследуемая территория включала плакорные зоны, удаленные от берега соответствующего озера на расстояние, не превышающее 80-100 м, а также прибрежные участки.

Особенности вертикального распределения и пространственную вариабельность радионулидов в почвах рассмотрим на примере наиболее загрязненных участков в районе оз. Тыгиш. Часть территории, прилегающая к нему, подвергнута рекультивационным работам, в ходе которых наиболее загрязненный поверхностный слой почвы мог быть частично удален или захоронен на некоторой глубине. На начальных этапах при проведении наших исследований на расстоянии 0.5 км от северного берега оз. Тыгиш были заложены почвенные разрезы в ненарушенном березовом колке (возраст деревьев 60-80 лет) и в сосново-березовом насаждении (возраст 25-35 лет), отстоящих друг от друга на расстоянии 0.5 км. Небольшой возраст сосново-березового насаждения и морфологический облик почв указывают на проведение на этом участке рекультивационных работ. Для сравнения почвенные разрезы закладывали в березово-сосновом лесу вне зоны аварийного выброса (окрестности с. Рассоха).

Данные таблицы 26 показывают, что максимальная концентрация ^{90}Sr приурочена к верхнему 0-5 см слою ненарушенной почвы березового колка; она примерно в 7 раз выше, чем на контрольном участке. С глубиной концентрация ^{90}Sr снижается и в слое почв 20-25 см оказывается ниже предела чувствительности применяемого метода обнаружения. В сосново-березовом насаждении, почвенный покров которого был нарушен в ходе послеаварийных работ, распределение концентраций ^{90}Sr по глубине носит иной характер. Наиболее высокое содержание нуклида отмечено на глубине 25-30см, а в верхнем 0-5 см слое почвы его содержание оказалось даже ниже, чем на контрольном участке. Такое снижение и инверсия концентраций радиостронция в почвах зоны ВУРСа, затронутых дезактивационными работами, может быть связано с частичным удалением загрязненного поверхностного слоя и захоронением его на некоторой глубине. Концентрация ^{137}Cs в почвах обследованных участков оказалась практически одинаковой. Самые высокие ее значения приурочены к верхнему (0-5 см) наиболее гумусированному слою почвы. Следует отметить, что в почвах нарушенного участка, в слоях на глубине 10-30 см она выше, чем в ненарушенной целинной почве березового колка.

В соответствии с отмеченными различиями в концентрации ^{90}Sr в почвах неоднородна и плотность их загрязнения. Так на участках, находящихся в непосредственной близости друг от друга она достигает 34 кБк/м^2 для ненарушенных почв и лишь 1.7 кБк/м^2 для почв, затронутых дезактивационными, работами и контрольного участка соответственно. Плотность загрязнения почвенного покрова ^{137}Cs в пределах обследованного участка зоны ВУР-

Таблица 26

Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах западного берега озера Тыгиш, Бк/кг сухой массы

Глубина, см	Нативный участок		Рекультивированный участок		Контрольный участок	
	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs
0 - 5	646±235	314±100	12±1	75±42	90±15	150±3
5 - 10	212±40	19±1	16±6	12±4	10±2	23±2
10 - 15	40±4	9±1	7±1	21±13	4±1	5±1
15 - 20	6±2	8±1	7±5	45±35	ниже пред.	7±1
20 - 25	ниже пред.	8±1	11±6	11±6	обн.	5±1
25 - 30	обн.	15±9	27±16	20±1	-»-	ниже пред. обн.

Са изменяется от 13.6 до15.2 кБк/м2, что в среднем в 2 раза выше, чем на контрольном участке.

Имея ввиду значительную неоднородность в уровнях загрязнения участков центральной оси зоны ВУРСа, провели углубленные исследования береговой зоны оз. Тыгиш. На плакорных и прибрежных участках были заложены почвенные разрезы, ориентированные по странам света. Как было отмечено выше, в плакорной зоне северо-западной оконечности озера также сформировались дерново-луговые почвы с погребенными, за счет проведения рекультивационных работ, гумусовым горизонтом (разрез 9М). Вследствие этого в вертикальном распределении ^{90}Sr по глубине однометрового почвенного профиля можно отметить два максимума концентраций: в дерновом 0-5 см слое — 78.7 Бк/кг и в слое 80-90 см — 262 Бк/кг (рис. 15). При пересчете полученных данных на единицу площади оказалось, что основное количество радионуклидов (69% от содержания в профиле) сосредоточено в погребенном горизонте. Минимальное площадное содержание этого нуклида (0.02 и 0.2 кБк/м2) на данном участке водосбора характерно соответственно для разнотравья и дернины. В нативных почвах плакорной зоны северо-восточного берега озера Тыгиш большая часть ^{90}Sr концентрируется в слое 0-15 см, а на глубине, превышающей 30-40 см, с помощью применяемого метода практически не обнаруживается. При обследовании четырех участков прибрежной зоны озера Тыгиш также отмечается высокая пространственная вариабельность концентраций радиостронция в почвенных слоях. Однако в целом сохраняется однотипный характер вертикального распределения этого нуклида при максимальном содержании его в верхнем 0-15 см слое почвы. Сравнение данных по плотности загрязнения ^{90}Sr плакорных и гидроморфных почв выявляется более равномерное распределение нуклида по профилю последних.

В почве рекультивированного участка северо-западной оконечности озера Тыгиш ^{137}Cs, как и ^{90}Sr, обнаружен в значимых количествах вплоть до глубины 100 см. При этом почти половина радиоцезия (46%) находится в погребенном гумусовом горизонте. В аналогичном ненарушенном участке ландшафта северо-восточного берега озера 90% ^{137}Cs концентрируется в слое 0-15 см и глубже практически не перемемещается. Для сравнения отметим, что в некоторых гидроморфных почвах прибрежной зоны максимальная глубина миграции ^{137}Cs составила 40 см и около 70% общего запаса радионуклида сосредоточено на глубине 0-15 см.

В рамках сотрудничества с Международным Союзом радиоэкологов образцы почв из разреза с погребенным гумусовым го-

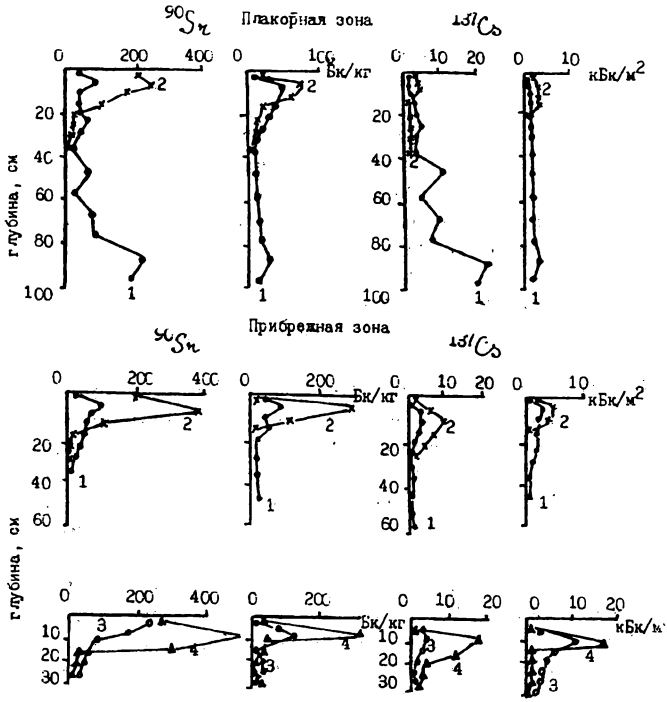


Рис. 15. Распределение радионуклидов в почвенно-растительном покрове береговой зоны озера Тыгыш

ризонтом были отправлены в RiSo National Laboratory (Дания) для определения содержания в них трансурановых элементов. Из рис. 15 видно, что при меньшем, по сравнению со ^{90}Sr, абсолютном содержанием Pu в почве, кривая его распределения идентична кривой распределения ^{90}Sr. Как и в случае со стронцием, максимум содержания 239,240Pu обнаружен в погребенном горизонте. Следовательно, во время Кыштымской аварии 1957 года наряду с выбросом во внешнюю среду продуктов деления урана имело место поступление в почвенно-растительный покров плутония.

Чтобы охарактеризовать процессы перераспределения радионуклидов на водосборной территории в районе озера Б.Сунгуль отбирали пробы на сопряженных по стоку участках, примыкающих к береговой зоне озера. Анализ полученных данных (табл. 27) показал, что в районе прибрежной зоны концентрация ^{90}Sr в растениях и в верхнем 0-10см слое почвы выше, чем на плакорных участках. Пересчет содержания этого радионуклида на единицу площади также выявил больший его запас в аккумулятивном участке ландшафта. Математическая обработка результатов путем попарного сравнения значений запасов радионуклидов в сопряженных участках подтвердила высокую достоверность полученных результатов (критерий Стьюдента ton-3.9; при t=0.05-2.6). Подобное повышение содержания ^{90}Sr в переувлажненных почвах прибрежья может быть связано как с процессами перемещения нуклида в составе твердого и жидкого поверхностного стока, так и с дополнительным поступлением с акватории водоема во время сезонного затопления.

Независимо от положения почв в ландшафте содержание и распределение ^{137}Cs по глубине в целом одинаковы. Имеющиеся различия носят статистически недостоверный характер.

На северо-восточном берегу озера Червяное концентрация ^{90}Sr в почвах плакорной зоны изменяется от 13 до 2, а прибрежной — от 50 до 5 Бк/кг в зависимости от глубины отбора проб (табл. 28). При этом как и в районе оз. Б.Сунгуль, общий запас радионуклида в гидроморфных почвах прибрежной зоны в 2 раза превышает таковой для водораздельных участков. Что касается ^{137}Cs, то для него также намечается тенденция к увеличению запаса в почвах прибрежной зоны оз. Червяное.

Для изучения особенностей пространственного распределения и миграции радионуклидов в гидроморфных почвах сопряженных по стоку участков ландшафта в пойме реки Исеть был заложен геохимический профиль (район д. Смолинское), охватывающий притеррасье, центральную пойму реки и ее прирусловую часть (рис. 16). Видно, что содержание ^{90}Sr в расчете на единицу массы и площади в верхних слоях почвы притеррасья выше, чем в таковых центральной и прирусловой поймы реки. Однако, в переувлажненных пойменных почвах этот радионуклид мигрирует на большую глубину, чем в незатопляемых участках притеррасья. Соответственно в обследованных почвах отмечен и различный характер вертикального распределения радиостронция. Если в дерново-луговой почве притеррасья основное количество нуклида сосредоточено в слое 0-5 см, то в аллювиально-слоистых почвах поймы оно распределяется довольно равномерно вплоть до глубины 50 см.

Максимальная концентрация ^{137}Cs также приурочена к верхнему слою почв, сформированных в зоне притеррасья и централь-

Таблица 27

Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвенно-растительном покрове сопряженных участков в районе оз. Б.Сунгуль

Глубина, см	^{90}Sr Бк/кг	^{90}Sr кБк/м^2	^{137}Cs Бк/кг	^{137}Cs кБк/м^2
		Плакорная зона		
Разно-травье	54±22	<0.01	33±13	<0.01
0 - 5	41±2	2.2±0.3	32±4	1.8±0.2
5 - 10	31±3	2.7±0.5	34±1	2.9±0.2
10 - 15	35±6	2.5±0.5	34±4	2.4±0.2
15 - 20	34±8	2.3±0.1	30±2	2.5±0.3
20 - 25	33±8	2.0±0.4	31±7	2.2±0.3
25 - 30	25±8	1.3±0.5	23±5	1.5±0.5
Всего	13.0±1.8	13.3±0.7		
		Прибрежная зона		
Разно-травье	103±36	0.1	50±20	0.02
0 - 5	183±61	7.6±0.3	55±26	2.1±1.3
5 - 10	64±21	4.2±1.6	44±27	5.3±2.4
10 - 15	22±7	3.5±0.6	14±8	1.0±0.4
15 - 20	37±9	2.9±0.3	12±3	0.7±0.4
20 - 25	35±19	2.6±1.0	11±4	0.8±0.2
25 - 30	26±12	1.8±0.5	12±3	0.9±0.3
Всего	22.7±1.7	10.8±4.2		

Таблица 28

Содержание радионуклидов в почвенно-растительном покрове в районе озера Червяное

Глубина, см	^{90}Sr Бк/кг	^{90}Sr кБк/м^2	^{137}Cs Бк/кг	^{137}Cs кБк/м^2
		Плакорная зона		
0 - 5	13±7	0.7±0.4	36±1	2.2±0.3
5 - 10	16±10	1.3±0.7	36±2	3.1±0.3
10 - 15	21±18	1.9±1.5	29±5	2.5±0.5
15 - 20	12±4	1.0±0.2	15±11	1.1±0.1
20 - 30	7±5	0.8±0.6	13±10	1.5±1.0
30 - 40	2±1	0.2±0.1	9±3	1.1±0.4
40 - 50	не обн.	не обн.	6±3	0.9±0.2
Всего	5.9	12.4		

(продолжение таблицы 28)

Глубина, см	^{90}Sr Бк/кг	^{90}Sr кБк/м^2	^{137}Cs Бк/кг	^{137}Cs кБк/м^2
		Прибрежная зона		
Разно-травье	150±70	0.04±0.001	22±2	0.01±0.001
0 - 5	50±10	3.2±0.6	177±2	13.5±0.15
5 - 10	35±12	1.7±1.0	2±0	0.1±0.02
10 - 15	20±15	1.7±1.0	13±2	1.1±0.20
15 - 20	12±2	1.0±0.2	7±3	0.6±0.25
20 - 25	5±2	0.5±0.2	5±2	0.4±0.15
25 - 30	30±5	3.3±0.5	7±1	0.6±0.09
Всего	10.6	16.5		

ной поймы. В нижерасположенных почвенных слоях его концентрация постепенно снижается, причем в ландшафтах центральной поймы радионуклид регистрируется на глубине 50 см. В дерново-слоистых почвах наиболее динамичного участка ландшафта (прирусловье) радиоцезий также обнаруживается на этой глубине. Причем максимальное его содержание на единицу массы и площади смещено с поверхности на глубину 15-20 см.

В заключении рассмотрим особенности пространственного изменения содержания радионуклидов в почвах водосборной площади нижнего течения реки Каменка на отрезке: пос. Черноусово — Н.Завод, то есть с северо-запада на юго-восток до впадения ее в реку Исеть. Серией разрезов охарактеризованы почвы, занимающие различное ландшафтное положение — от поймы до водоразделов — и удаленных от русла реки от 50 до 4000 метров. Согласно схеме Восточно-Уральского радиоактивного следа плотность загрязнения на разных участках составляет от 0.1 до 2 Ки/км2. Определение концентрации радионуклидов для сопоставимости данных во всех случаях проводилось для слоя почвы 0-10 см. Только в лесных почвах проводилось раздельное определение радионуклидов в подстилке и нижележащем гумусовом горизонте в пределах десятисантиметровой толщи. В этом случае при расчете запасов в кБк/М^2 и Ки/км^2 приводятся суммарные данные для обоих слоев.

Как видно из полученных данных (табл. 29) наибольшим содержанием радионуклидов в геохимически сопряженном ряду почв (профиль 2; 0.1-0.2 Ки/км2) отличаются почвы, занимающие водораздельные возвышенности. По мере удаления от русла реки в них возрастает отношение $^{90}Sr : ^{137}Cs$.

Обращает на себя внимание тот факт, что плотность загрязнения по ^{90}Sr практически не изменилась за годы, истекшие пос-

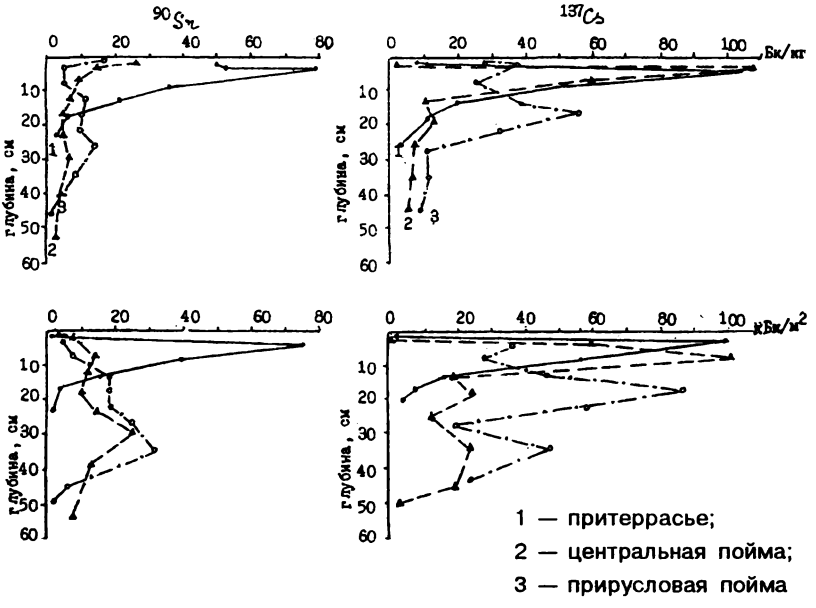


Рис. 16. Распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах, сопряженных по склону участков поймы р. Исеть

ле взрыва. Поскольку это маловероятно, то есть основание предположить, что исходная плотность загрязнения здесь была выше.

На участках, расположенных ниже по течению реки, отличающихся более высокой плотностью загрязнения (особенно в устье реки Каменка — профиль 8) в пойменных почвах отношение ^{90}Sr:^{137}Cs резко возрастает. Плотность загрязнения почв здесь также на водоразделах выше, чем в пойме. В целом можно отметить тенденцию увеличения плотности загрязнения по ^{90}Sr пойменных почв устья реки по сравнению с вышерасположенными по течению участками. И здесь стронций-90 резко превалирует над цезием-137.

Между тем плотность загрязнения по ^{137}Cs в пойменных почвах закономерно уменьшается вниз по течению реки. На водоразделах значительно более высокая их концентрация в зоне с наибольшей плотностью загрязнения по ^{90}Sr.

Итак наибольшим содержание радионуклидов в геохимически сопряженном ряду пойменных почв выделяются почвы, занимающие верхние части склонов и возвышенные приводораздельные пространства.

Таблица 29

содержание радионуклидов в слое 0-10 см в геохимически сопряженных ландшафтах бассейна реки Каменка.

NN профиля, плотность	NN разрезов	Расстояние от русла реки Каменка	Абсолютная высота местности, м	Рельеф	Почва	Бк/кг		кБк/м^2		Ки/км^2		$\frac{^{90}Sr}{^{137}Cs}$
						^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	111Ф	50	170	Пойма	Аллювиальная дерновая	19	110	2.14	12.43	0.06	0.03	0.17
0.1-0.2 Ки	101Ф	500	180	I надпойменная терраса	Чернозем выщелоченный	38	99	3.46	9.00	0.09	0.24	0.37
	81Ф	2500	190	Приводораздельный склон	Темно-серая глееватая	165	466	3.60	10.20	0.10	0.28	0.36
	131Ф	4000	205	Водораздел	Светло-серая лесная оподзоленная	172 27	264 71	4.10	9.40	0.13	0.33	0.44
3	151Ф	100	165	Пойма	Аллювиальная дерновая	40	50	2.15	3.10	0.07	0.08	0.87

(окончание таблицы 29)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0.5-1.0 Ки	3А	2000	185	Пологий приводораздельный склон	Чернозем выщелоченный	40	75	4.12	7.72	0.11	0.21	0.53
	141Ф	5000	195	Водораздел	Серая лесная	28	110	3.27	12.89	0.09	0.35	0.25
8	241Ф	100	150	Пойма	Аллювиальная дерновая	41	15	5.00	1.83	0.13	0.05	2.60
2 Ки	251Ф	750	200	Высокий коренной берег	Серая лесная оподзоленная	621 83	416 640	11.20	64.20	0.31	1.74	0.17
	16А	2750	195	Плоский водораздел	Серая лесная (пахотная)	128	85	12.80	8.50	0.34	1.28	0.26

Однозначной зависимости между первоначальной плотностью загрязнения и содержанием ^{90}Sr и ^{137}Cs в момент исследований в почввенном покрове четко не прослеживается.

На топоэкологическом профиле 8 (в устье реки каменка) отмечается повсеместное доминирование ^{90}Sr над ^{137}Cs, причем отношение ^{90}Sr:^{137}Cs существенно сужается по мере удаления от центральной части поймы.

Современная радиационная обстановка в пределах обследованной территории осложняется выпадением радионуклидов от штатно работающих предприятий Урала.

6.4 К вопросу о круговороте радионуклидов в агроэкосистемах.

В различных, в том числе и аварийных, радиологических ситуациях, связанных с вовлечением долгоживущих радионуклидов в сферу сельскохозяйственного производства, аккумуляция радионуклидов растениями из почвы определяет исходные масштабы вовлечения радионуклидов в пищевые цепи (радиоактивные выпадения — почвенный покров — сельскохозяйственные растения — сельскохозяйственные животные — человек). С этим связано огромное значение звена почва — растение в общем цикле круговорота радионуклидов в природной среде в целом и в агропромышленной сфере в частности.

Знание размеров накопления сельскохозяйственными растениями радионуклидов является той теоретической основой, которая позволяет разрабатывать конкретные практические рекомендации, направленные на решение проблемы радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова в агроэкосистемах и получения чистой сельскохозяйственной продукции.

Особенностью агроэкосистем является ежегодное отчуждение с урожаем части создаваемой за вегетационный период фитомассы и возврат в почву оставшейся фитомассы в виде пожнивно-корневых остатков. Известно, что разные виды растений обладают неодинаковой способностью накапливать радионуклиды в вегетативных и генеративных органах. При этом межвидовые различия в аккумуляции радионуклидов при корневом пути перехода достигают 10-30 раз (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1991). Это связано с особенностями минерального питания растений, определяемых физико-химическими свойствами почвы и собственно биологическими особенностями культуры, в том числе разной продолжительностью вегетационного периода, характера распределения корневых систем в почве и их соотношением с надземной фитомассой и др. Согласно литературным данным (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1991; Федоров, Романов, 1969) ^{90}Sr в 2-6 раз интенсивнее поглощается бобовыми культурами, чем

зерновыми, а содержание ^{137}Cs обычно выше в зернобобовых культурах, чем в злаковых. Влияние сортовых различий на накопление радионуклидов сельскохозяйственными растениями менее значимо, чем видовых, пределы колебаний концентраций радионуклидов не превышают как правило 2-3 раз (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1991).

При возделывании одних и тех же сельскохозяйственных культур, но в разных почвенно-климатических условиях, используются разные агроприемы, что обусловливает неодинаковое поступление радионуклидов из почвы в растения. Работы по изучению размеров миграции в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа искусственных радионуклидов в системе почва — сельскохозяйственные растения и их накопления в сельскохозяйственной продукции были начаты В.М. Клечковским с коллегами (Алексахин, 1991). Эти работы были выполнены в «головной» части следа на территории Челябинской области, а оставшаяся «головная», центральная и хвостовая части следа, приходящиеся на территорию Каменского и Богдановического районов Свердловской области долгое время не были охвачены аналогичными исследованиями. В последующих работах преимущественное внимание уделялось особенностям накопления и миграции радионуклидов в лесных экосистемах (Тихомиров, 1993; Федоров, Смирнов, Гуро, 1993).

Проведенные нами исследования на территории Каменского района показали, что в агроценозах зоны ВУРСа культурная растительность создает значительную фитомассу. Наибольшие запасы общей фитомассы были получены для посевов кукурузы, а наименьшие — для посевов ячменя (табл. 30). Однако для оценки размеров выноса радионуклидов сельскохозяйственными растениями недостаточно располагать только одними данными по общей фитомассе, поскольку наиболее интенсивно идет накопление радионуклидов в листьях, стеблях и значительно слабее в генеративных и подземных органах растений.

Известно, что накопление ^{90}Sr в растениях может колебаться в очень широких пределах. Коэффициенты накопления (КН) могут различаться в 30-400 раз (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1991). Поступление ^{137}Cs в растения из почвы в среднем в 5-10 раз меньше, чем ^{90}Sr, однако известны случаи когда в определенных эдафических условиях КН = 4-5. В общем накопление ^{137}Cs растениями в зависимости от почвенных условий меняется в 20-30 раз, в зависимости от биологических особенностей растений до 10 раз, а сортовые различия в поглощении ^{137}Cs растениями не превышают 1.5-2 раз.

На территории ВУРСа в сельскохозяйственных растениях радиостронций преобладает над радиоцезием (табл. 31). Отношение содержания в растениях $^{90}Sr/^{137}Cs$ закономерно снижается от 28

Таблица 30

Запасы фитомассы сельскохозяйственных растений

NN учетных площадок	Культура	Запасы фитомассы Зерно	Стебли	Корни	Общие	Первонач. плотность загрязн. Ки/км² (по 1958г)	Название почвы	Местополож. учетных площадок
			ц/га					
7(93)	Пшеница	15.34	46.04	18.77	80.15	0.1-0.2	Чернозем оподзоленный	д.Мухлынина
14(93)	Пшеница	28.23	84.69	28.58	141.50	0.5-1.0	Светло-серая эродированная	д.Черемхово
9(92)	Пшеница	16.76	53.08	19.91	89.75	1.0-2.0	Чернозем выщелоченный	оз.Червяное
18(93)	Ячмень	11.51	34.54	15.71	61.76	2.0	Темно-серая	д.Бортниково
9(93)	Кукуруза	-	108.57	21.72	130.29	0.1-0.5	Серая	д.Черноусово
10(92)	Кукуруза	-	201.50	32.32	233.82	2.0	Серая	оз.Червяное
3(93)	Травы	-	64.08	79.08	143.16	вне следа	Луговая карбонатная	д.Клевакинское
11(93)	Травы	-	45.40	60.40	105.80	0.1-0.5	Аллювиальная дерновая	д.Черноусово
15(93)	Травы	-	43.56	58.56	102.12	0.5-1.0	Аллювиальная дерновая	д.Черемхово
19(93)	Травы	-	92.21	107.42	199.42	2.0	Аллювиальная дерновая	д.Бортниково
1(92)	Травы сеяные многолет.	-	79.22	94.22	173.44	2.0	Лугово-черноземная	оз.Тыгиш

Таблица 31

Усредненные показатели загрязнения почв и сельскохозяйственных растений в пределах зоны ВУРСа (Свердловская область)

Административный район, хозяйство	Почва					Растение*				
	Содержание, Бк/кг		$^{90}Sr/^{137}Cs$	Плотность, мКи/км^2		Содержание, Бк/кг		$^{90}Sr/^{137}Cs$	Коэффициэнты накопления	
	^{90}Sr	^{137}Cs		^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs		^{90}Sr	^{137}Cs
Каменский, совхоз «Родина»	101.7	18.0	5.65	1022	181	35.10	1.25	28.08	0.37	0.067
Богдановический, колхоз «Свердлова»	27.5	14.4	1.90	194	101	14.00	2.80	5.00	0.51	0.194
Тугулымский, совхоз «Тугулымский»	8.3	21.9	0.38	106	172	2.29	1.22	1.88	0.28	0.056
Тугулымский, совхоз «Шипицинский»	10.44	10.3	1.01	67	66	0.65	0.35	1.86	0.062	0.034

* — данные для надземных органов сельскохозяйственных растений

в «головной» части следа (Каменский район) до 1.86-1.88 — в «хвостовой»(территория Камышловского и Тугулымского районов), то есть максимальное содержание ^{90}Sr в растениеводческой продукции фиксируется в хозяйствах Каменского района, а ^{137}Cs — на территории Богдановического района. Для последнего района были получены самые высокие КН для ^{137}Cs — 0.194 и для ^{90}Sr — 0.51. Данные таблицы 31 раскрывают лишь наиболее общие особенности загрязнения растениеводческой продукции в зоне ВУРСа и сопредельных с ним регионах.

Из таблицы 32 видно, что содержание радионуклидов в сельскохозяйственных растениях колеблется в больших пределах даже на территории с близкой плотностью загрязнения. Это подтверждают расчеты КН для надземной фитомассы многолетних трав, которые варьируют от 0.09 до 0.45 по стронцию-90 и от 0.005 до 0.1 — по цезию-137. Для кукурузы, выращиваемой на зеленую массу и силос, эти величины составили 0.01-0.30 и 0.01-0.37, а для зерна овса, ячменя и пшеницы эти показатели были следующими: ^{90}Sr — 0.006-0.1 и ^{137}Cs — 0.002-0.13 соответственно. Это очевидно, связано как с пестротой почвенного покрова, так и с мозаичностью радионуклидного загрязнения. Однако тенденция более высокого накопления радионуклидов выражена в зонах с более высокой первоначальной плотностью загрязнения.

Кроме того, в пределах ВУРСа прослеживается тенденция к сужению отношения $^{90}Sr/^{137}Cs$ по мере продвижения из зон с большей первоначальной плотностью загрязнения в зоны с меньшей. Так, рассматриваемое отношение в зерне и стеблях ячменя изменяется от 10.40 до 7.42 и от 9.69 до 3.77, соответственно, а у овса в рассматриваемых частях фитомассы этот показатель уменьшается от 4.00 до 3.12 и от 14.40 до 11.42. Для пшеницы отмечена аналогичная картина только для зерна, а для стеблей получена обратная зависимость, то есть для зоны с большей первоначальной плотностью загрязнения отношение $^{90}Sr/^{137}Cs$=3.70, тогда как в другой зоне — 5.5. Для растений, у которых хозяйственную ценность имеют только вегетативные органы (многолетние и однолетние травы, скашиваемые на сено, сеннаж, травяную муку,кукуруза на силос и зеленую массу) рассмотренная выше на примере овса и ячменя тенденция сохраняется.

Среди всех изученных сельскохозяйственных культур самое широкое отношение $^{90}Sr/^{137}Cs$ характерно для многолетних трав и самое узкое — для зерна овса и пшеницы.

В агроценозах с отчуждаемой фитомассой из круговорота радионуклидов в системе «почва — растение — почва» выпадает какая-то их часть. Для оценки размеров возврата в почву радионуклидов с пожнивно-корневыми остатками необходимо распола-

Таблица 32

Содержание радионуклидов в сельскохозяйственных растениях, Бк/кг

Культура	Плотность загрязнения, Ки/км^2	Зерно ^{90}Sr	Зерно ^{137}Cs	Стебель ^{90}Sr	Стебель ^{137}Cs	$^{90}Sr/^{137}Cs$ Зерно	$^{90}Sr/^{137}Cs$ Стебель
Пшеница	> 2 - 1	11.22-1.95*	1.51-0.13	20.45-2.39	21.60-0.51	21.00-3.80	14.90-2.10
		4.25	0.61	10.65	3.93	6.90	3.70
	< 0.1- 1	2.37-0.69	1.44-0.09	17.18-4.40	3.53-0.65	10.80-0.69	8.70-1.01
		1.48	0.40	7.90	1.43	3.78	5.50
Ячмень	> 2 - 1	12.21-0.45	4.26-0.06	68.40-3.04	3.40-0.45	29.60-1.20	25.60-3.40
		3.75	1.11	20.41	2.08	10.40	9.69
	< 0.1- 1	6.22-0.37	2.15-0.11	43.65-6.65	2.54-0.60	19.60-0.20	6.50-0.0
		2.24	0.81	20.58	0.89	7.42	3.77
Кукуруза	> 2 - 1	-	-	9.74-0.30	1.88-0.03	-	23.70-3.60
		4.59	0.82	15.40			
	< 0.1- 1	-	-	2.85-0.29	42-0.10	-	28.50-0.07
		1.67	0.23	12.60			
Овес	> 2 - 1	1.68**	0.42	14.47	1.01	4.00	14.40
	< 0.1 - 1	1.56	0.50	10.85	0.95	3.12	11.42
Многолетние травы	> 2 - 1	-	-	28.16-2.73	68-0.03	-	285.00-7.00
				12.01	0.27		71.7
	< 0.1- 1	-	-	12.60-3.28	73-0.05	-	252.00-2.15
				5.16	0.38		49.31

* — max-min / $x_{сред.}$, ** - единичные определения

гать данными по структуре фитомассы и содержанию ^{90}Sr и ^{137}Cs в ее различных структурных частях.

Известно, что радионуклиды возвращаются в почву не только с подземными органами растений, но и с остатками соломы, стерни. В целом в агроценозах исследуемого региона количество пожнивно-кор невых остатков, оставляемых различными сельскохозяйственными культурами, изменяется в 1.5-2.0 раза. Наибольшее их количество 33-54 ц/га остается после уборки на лугах многолетних трав на сено, сеннаж и травяную муку, а наименьшее количество — после яровых зерновых культур. В каждом конкретном случае количество поступающих в почву пожнивно-корневых остатков будет определяться биологической продуктивностью посевов, высотой среза стерни и другими условиями.

Как видно из полученных данных (табл. 30), при общей невысокой урожайности зерновых культур (11-17 ц/га) в почву с пожнивно-корневыми остатками ежегодно возвращается от 14 до 27% ^{90}Sr, накопленного растениями за вегетационный период (табл. 33). В то же время возврат в почву ^{137}Cs с пожнивно-корневыми остатками ячменя составляет 62% и 24% — пшеницы. Столь существенные различия в возврате радионуклидов в почву обусловлены тем, что в зерне пшеницы содержание ^{137}Cs оказалось в 2.5 раза выше, чем в зерне ячменя. Эти различия следует связывать не столько с биологическими особенностями поглощения радионуклидов этими растениями, но и спецификой конкретных почвенных условий.

Возврат в почву с пожнивно-корневыми остатками в посевах многолетних трав составил ^{90}Sr — 39% и ^{137}Cs — 28%, а в посевах кукурузы — 5.8 и 15.8%, соответственно.

Приведенные в таблице 33 данные позволяют дать ориентировочную оценку выноса радионуклидов с урожаем основных сельскохозяйственных культур из биологического круговорота в агроценозах зоны ВУРСа. За послеаварийный период, согласно произведенным подсчетам, с урожаем многолетних трав могло быть отчуждено 1396 кБк 90Sr и 48 кБк/га ^{137}Cs, а с зеленой массой кукурузы 658 и 44 кБк/га соответственно. Эти цифры весьма условны, ибо они получены без учета динамики урожайности названных культур, их доли в структуре севооборотов, а также в связи с изменившейся во времени «энергией» накопления радионуклидов. Тем не менее эти величины могут представлять интерес при составлении ориентировочной ретроспективной картины для территории ВУРСа. Кроме того, приведенные материалы представляют теоретический интерес как основа для разработки современных систем земледелия, позволяющих получить сельскохозяйственную продукцию, отвечающую санитарно-гигиеническим требованиям.

Таблица 33

Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в различных частях фитомассы сельскохозяйственных растений и ежегодный возврат радионуклидов в почву (Каменский район).

Культура	Бк/кг								Возврат в почву с растительными остатками,%	
	Пожнивно-корневые остатки		Корни		Стебель (солома)		Зерно			
	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs
Многолетние травы на сено, сеннаж, зеленую массу	11.54	0.40	3.90	0.30	17.45	0.68	-	-	39.3	28.5
Пшеница на зерно	1.53	1.40	1.04	0.82	2.26	2.32	9.88	1.81	14.2	24.1
Ячмень на зерно	24.30	1.05	1.90	0.56	65.16	2.54	12.21	0.62	26.8	62.0
Кукуруза на зеленую массу	4.43	0.95	2.20	0.30	15.31	0.34	-	-	5.8	15.8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом в зоне ВУРС в пределах Каменского района Свердловской области сохраняется неблагоприятная радиоэкологическая обстановка. Несмотря на то, что показатели плотности радионуклидного загрязнения относительно невелики, тем не менее они на порядок выше, чем за пределами ВУРСа.

В послеаварийный период под влиянием природных процессов и антропогенных факторов произошло перераспределение долгоживущих радионуклидов между компонентами природного комплекса и в настоящее время зафиксирована весьма сложная картина их пространственного распределения и накопления в почвенном покрове. Последнее обстоятельство вызвано как генетическим разнообразием почв в Зауральской лесостепи, так и особенностями их геохимического сопряжения в ландшафте.

В то же время при значительном генетическом разнообразии почвенный покров зоны ВУРСа имеет ряд общих свойств и особенностей, непосредственно влияющих на сорбцию радионуклидов и длительное воздействие на экосистемы - это тяжелый гранулометрический состав, высокая гумусированнность почв, значительное содержание в составе почвенного поглощающего комплекса кальция и специфика водного режима.

Результатом сопряженного анализа физико-химических свойств почв и содержания в них радионуклидов явилось вычленение в профиле генетических горизонтов или их отдельных слоев, аккумулирующих основную массу радионуклидов. Выявлена уникальная роль органогенных и кальцийсодержащих горизонтов, а также особенностей формирования подземных органов растений как своеобразного биологического экрана на пути вертикальной миграции радиостронция и радиоцезия.

Среди антропогенных факторов, определивших перераспределение радионуклидов и размеры их накопления в почвах, следует назвать рекультивационные работы, проведенные в первые послеаварийные годы на ограниченной территории. Впервые количественно оценен запас долгоживущих радионуклидов в погребенных генетических горизонтах почв в той части ВУРСа, где проводились дезактивационные работы. В этих почвах выделяется два максимума концентрации ^{90}Sr: в дерновом 0-5 см слое и в гумусовом горизонте, погребенном на глубину 50-60 см. Суммарный

запас ^{90}Sr в профиле таких почв в настоящее время превышает 3 Ки/км2. Исходя из этих данных и с учетом того, что за послеаварийный период в целом в зоне «следа» уровень радиационного загрязнения снизился в 2-3 раза, можно предположить, что исходный уровень загрязнения был около 9 Ки/км2.

Анализ радиационной обстановки в различных экосистемах (лесная, агро- и т.п.), находящихся в зонах с одинаковой первоначальной плотностью загрязнения, позволил выявить принципиальные отличия в особенностях поведения и современного распределения в них долгоживущих радионуклидов.

Обследование целинных серых лесных почв показало значительную вариабельность и мозаичность их загрязнения. Количество ^{90}Sr в изученных почвах, как правило, снижается в направлении от центральной оси следа к его периферии. Так, на участках, расположенных в пределах центральной оси, плотность загрязнения ^{90}Sr достигает 1 Ки/км2, а в районах восточной и западной трансект она не превышает 0.2 Ки/км2. Запас ^{137}Cs в серых лесных почвах практически не зависит от местоположения их в границах следа и составляет 0.2-0.3 Ки/км2. Для почв лесных экосистем характерно преимущественное концентрирование радионуклидов в лесной подстилке и верхней части гумусового горизонта. Отмечено, что в лесных фитоценозах характер профильной миграции и депонирование радионуклидов в почвах находятся в тесной зависимости не только от физико-химических свойств, но и от направленности биологического круговорота в целом.

Пахотные почвы значительно отличаются от лесных по совокупности физико-химических характеристик, что приводит к иному профильному распределению радионуклидов. Верхняя часть пахотного слоя, как правило, обеднена радионуклидами, по сравнению с нижней, что определяется «разорванностью» биологического круговорота (отчуждением с урожаем) и антропогенным воздействием (механическая обработка, внесение удобрений и др.).

Углубленное исследование дерново-луговых почв в районе оз. Тыгиш выявило значительную неравномерность загрязнения его береговой зоны радиостронцием. Так содержание ^{90}Sr в верхнем (0-10 см) слое обследованных почв колеблется от 20 до 300 Бк/кг.

Определенное место в настоящей работе было отведено исследованию поведения радионуклидов в геохимически сопряженных участках ландшафта в береговой зоне озер Б. Сунгуль и Червяное. Полученные результаты показали, что в прибрежных участках концентрация радиостронция в растениях и в верхнем 0-10 см слое аллювиально-слоистых почв в 2-5 раз выше, чем на плакорах. Подобное повышение содержания ^{90}Sr в переувлажненных

почвах прибрежья может быть связано как с процессами перемещения нуклида в составе твердого и жидкого поверхностного стока, так и с дополнительным поступлением с акватории загрязненного водоема при сезонном затоплении.

В почвах прибрежных участков, формирующихся в условиях избыточного увлажнения, для радиоцезия, как и для радиостронция, обнаружены более высокие темпы вертикальной миграции и относительно равномерное распределение радионуклидов в почвенном профиле.

Изложенные в работе материалы являются теоретической основой для целого ряда практических рекомендаций, представляющих интерес для работников сельского хозяйства. Одной из самых насущных проблем, связанных с сельскохозяйственным производством, является получение в зоне ВУРСа экологически чистой растениеводческой продукции.

Проведенные исследования позволяют выделить территории, собираемая с которых сельскохозяйственная продукция должна быть подвержена наиболее жесткому радиационному контролю. В первую очередь это относится к совхозу «Родина», значительная часть сельхозугодий которого оказалась в пределах южной осевой части следа (зона 1), где плотность загрязнения по стронцию-90 достигает в настоящее время, 0.54 Ки/км2, а содержание его в сельскохозяйственных растениях здесь на порядок выше, чем за пределами следа.

Для земель всех хозяйств Каменского района, где содержание радионуклидов превышает фоновые значения, необходимо предусмотреть специальную систему земледелия, все агроприемы которой должны быть направлены на предотвращение корневого поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию. Это возможно только в случае поддержания стабильной химической ситуации в почвах агроценозов.

Во всех хозяйствах зоны ВУРСа необходимо установить более жесткий, чем обычно, контроль за динамикой pH среды, гумусным состоянием и пищевым режимом почв, в первую очередь калийным.

Следует пересмотреть используемые в хозяйствах зоны ВУРСа агроприемы и скорректировать их с учетом выявленной радиационной неоднородности почвенного покрова даже в пределах одного полевого массива. Очевидно, что механическая обработка почв должна учитывать мощность гумусовоаккумулятивных горизонтов, а дозы вносимых удобрений и извести необходимо скорректировать с учетом реальных почвенных параметров, сообщаемых в настоящей работе.

Система земледелия в зоне ВУРСа должна носить ярко выраженный гумусосберегающий характер, что обусловлено дефицитом в агроценозах потенциальных гумусообразователей, ограниченными ресурсами органических удобрений в Каменском районе и ярко выраженной, как показано в работе, дегумификацией почв сельхозугодий. Такая система земледелия должна предусматривать не простое воспроизводство органического вещества в пахотных почвах, а расширенное. В связи с этим необходимо установить экономически обоснованные оптимальные величины содержания и качественного состава гумусовых веществ.

Для поддержания бездефицитного баланса гумусовых веществ считаем необходимым на этом этапе ежегодно вносить не менее 3.53-4.86 т/га подстилочного навоза в черноземные почвы и 6.40-8.80 т/га - в пахотные серые лесные, при условии, что насыщение зерновыми культурами севооборота не превысит 75%.

В систему механической обработки почв необходимо включить такие ее виды, которые обеспечили бы нарушение плужной подошвы без перемешивания ее с вышележащим пахотным горизонтом (обработка раз в 3 года плугом глубокорыхлитилем КПГ-250), что должно обеспечить выведение загрязнителей во внекорневую зону.

Предусмотреть в структуре севооборотов более высокое насыщение их кормовыми и сидеральными культурами, как способа расширенного воспроизводства гумусовых веществ.

Избегать широкого возделывания пропашных культур особенно на загрязненных территориях, а также по интенсивным технологиям.

Под более пристальным радиационным контролем должны находиться почвы, занимающие аккумулятивные позиции в ландшафте. Традиционно они представлены сенокосными и пастбищными угодьями.

Необходим радиоэкологический мониторинг почвенного покрова, учитывая, что содержание радионуклидов в почвах Каменского района в пределах ВУРСа превышает естественный радиационный фон.

ЛИТЕРАТУРА

Ааркрог А., Дальгаард Г., Караваева Е.Н., Куликов Н.В., Миттенар К., Молчанова И.В., Нильсен С.П., Позолотина В.Н., Поликарпов Г.Г., Фриссел М., Фулькьве, Юшков П.И. О содержании долгоживущих радионуклидов в почвах и древесных растениях зоны ядерной аварии на Южном Урале. // Экология, 1992, N 4. С. 50-55.

Агроклиматический справочник по Свердловской области. - Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 196 с.

Агрохимические методы исследования. - М.: Наука, 1965. 436 с.

Алексахин Р.М. Радиоактивное загрязнение почвы и растений. - М.: Изд-во АН СССР, 1963. 132с.

Алексахин Р.М. Ядерная энергия и биосфера. - М: Энергоиздат, 1982. 215 с.

Алексахин Р.М. Научная деятельность В.М. Клечковского и проблема радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова. // Почвоведение, 1990. N 10. С. 7-13.

Алексахин Р.М., Моисеев И.Т., Тихомиров Ф.А.- Агрохимия цезия-137 и его накопление сельскохозяйственными растениями. // Агрохимия, 1977, N 2. С. 129-142.

Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв.- М., 1970. 481 с.

Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 297 с.

Базилевич Н.И., Родин Л.Е. Продуктивность и круговорот элементов в естественных и культурных фитоценозах. // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 5-32.

Баранова З.А., Величко Н.А., Зубарева И.Ф. и др. Доступность стронция-90 и цезия-137 растениям пшеницы из различных фракций органического вещества почвы // Агрохимия, 1985, N 1. - С. 86-88.

Биологические основы плодородия почв / Под ред. О.А. Берестецкого. М.: Колос, 1984. 287 с.

Бурназян А.И. (ред.) Итоги изучения и опыт ликвидации последствий аварийных загрязнений территорий продуктами деления урана. М.: Энергоиздат, 1990. 144 с.

Бязров Л.Г., Архиреева А.И., Тарасов О.В. О концентрации некоторых радионуклидов в слоевищах эпифитных лишайников. / /Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. М.: Наука, 1993. - С. 68-70.

Вопросы радиоэкологии / Под ред. В.И. Баранова. М.: Атомиздат, 1968. 330 с.

Горчаковский П.Л. Растительность Урала // Урал и Приуралье. - М., 1968. - С. 211-262.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Российской Федерации в 1993 году // Радиационная обстановка на территории Российской Федерации, 1994, раздел 7.

/Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистеме (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990.

Заключение комиссии по оценке экологической ситуации в районе деятельности производственного объединения «Маяк» Минатомэнергопрома СССР, организованной распоряжением Президиума АН СССР N 1140-501 от 12.06.90 // Радиобиология, 1991. Т. 31, N 3. С. 436-452.

Иванов Н.А. Интенсивная технология и эффективность химизации земледелия Свердловской области. // Значение химизации земледелия в интенсивных технологиях. Тез. докл. науч.-практич. конф. Свердловск, 1987. С. 7-8.

Ильин М.И., Перепелятников Г.П., Пристер Б.С. Влияние коренного улучшения естественных лугов на переход радиации из почвы в травостой. // Агрохимия. 1991, N 1. С. 101- -105.

Караваева Е.Н., Молчанова И.В., Куликов Н.В. Режим почвенного увлажнения и миграция радионуклидов в почвенно-растительном покрове. // Радиоактивные изотопы в почвенно-растительном покрове. Свердловск, 1978. С. 29-34.

Ковда В.А. Биосфера, почвы и их использование. // Материалы 10 Международного конгресса почвоведов. М., 1974. 128 с.

Кожевникова Т.Л., Криволуцкий Д.А., Мишенков Н.Н., Мартюшова Л.Н., Архиреева А.И. Накопление радионуклидов шляпочными грибами. // Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. М.: Наука, 1993. С. 45-48.

Колесников Б.П. Естественно-историческое районирование лесов (на примере Урала) // Вопросы лесоведения и лесоводства: Докл. на V Всемир.конгр. - М.: Изд-во АН СССР 1960. С.51-57.

Критерии оценки экологической обстановки территорий для выяснения зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Раздел 3.3 Загрязнение и деградация почв. - Мин-во охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ. М., 1992. С.36-39.

Круглов С.Р., Васильева Н.А., Куринов А.Д., Алексахин Р.М. Распределение радионуклидов Чернобыльских выпадений по фракциям гранулометрического состава дерново-подзолистых почв. // Почвоведение, 1995, N 5. С. 551-557.

Куликов Н.В., Молчанова И.В. Континентальная радиоэкология. М.: Наука, 1975. 184 с.

Куликов Н.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Радиоэкология почвенно-растительногом покрова. Свердловск, 1990. 170 с.

Лактионов Н.И. Содержание гумуса и его качество в черноземах пахотных. // Плодородие черноземов в связи с интенсификацией их использования. М.: 1991. С. 206-210.

Левин Ф.И. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции. // Агрохимия, 1977, N 8. С.36-42.

Мамонтова Л.А. Поведение в почвах радиостронция и радиоцезия и накопление их в урожае в зависимости от применения торфа, золы, карбонатов и фосфатов кальция и калия. - Автореф. дисс. канд. наук. - М., 1977. - 16 с.

Мещеряков П.В. Накопление и распределение в почве биомассы подземных органов культурных растений. // Достижения науки и практики в решении Продовольственной программы на Среднем урале. Тез. докл. науч.-практич. конф.- Свердловск, 1985. - С. 20-21.

Мещеряков П.В. Запасы и структура подземной фитомассы в лесных экосистемах Зауралья. // Ботанические исследования на Урале. Информ. матер. Свердловск, 1988. - С.67-68.

Мещеряков П.В., Прокопович Е.В. Регулирование гумусного состояния почв зоны ВУРСа как один из способов реабилитации. // Реализация Государственной программы РФ по радиационной реабилитации Уральского региона. Матер. науч.-практич. конф. Екатеринбург, 1993. С. 70-71.

Молчанова И.В. Радиоэкологические аспекты почвенно-растительного покрова. Автореф. дисс. на соиск. уч.степ. докт.биол. наук. Свердловск, 1991. 33 с.

Молчанова И.В., Куликов Н.В. О распределении стронция-90 и цезия—137 в почвенно-растительном покрове тундры. // Доклады АН СССР. 1970. Т. 195, N 4. С. 959-961.

Мухин В.А. Накопление радионуклидов в детритных пищевых цепях лесных экосистем. // Реализация государственной программы Российской Федерации по радиологической реабилитации. Матер. науч.-практич. конф. Екатеринбург: ИПЭ УрО РАН, 1993. С. 77-78.

Нифонтова М.Г., Маковский В.И. Распределение стронция-90 и цезия—137 в почвенно-растительном покрове в торфяных бо-

лотах Каменского района Свердловской области. // Радиация, экология, здоровье. Сб. науч. трудов. Екатеринбург, 1994. Часть I. С. 73-79.

Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.

Олифер В.А. Биологический круговорот на западно-сибирских черноземах. // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л: Наука, 1971. С. 278-281.

Орлов Д.С., Гришина Л.Л. Практикум по химии гумуса.- М.: Изд-во МГУ, 1987. 272 С.

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

Павлоцкая Ф.И. Формы нахождения и миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. докт. биол. наук. Москва, 1981. 31 с.

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

Полынов Б.Б. Избранные труды. Отв ред. Тюрин И.В., Саунов А.П. - М: Изд-во АН СССР 1956. 751 с.

Прохоров В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-химические механизмы и моделирование. М.: Атомиздат, 1981. 98 с.

Радиоэкологическая обстановка на территории Свердловской области. // Экологический бюллетень правительства Свердловской области. - 1995, N 2. С. 2-9.

Рассел Р. Поведение радионуклидов в почве. // Радиоактивность и пища человека. / Под ред. Р. Рассела. М.: Атомиздат, 1971. С. 84-100.

Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв.- Составитель: К.В. Дьяконова. М., 1984 - 96 с.

Розанов А.Б., Розанов Б.Г. Экологические исследования антропогенных изменений почв. Серия «Итоги науки и техники», ВИНИТИ, 1990, вып. 7. 154 с.

Романов Г.Н., Мартюшов В.З., Смирнов Е.Г., Филатова Е.В. Ландшафтно-геохимические аспекты почвенного покрова Восточно Уральского радиоактивного следа. // Геохимия, 1993.N 7. С. 955-962.

Санников С.Н., Санникова Н.С., Петрова И.В. Загрязнение лесов зоны ВУРСа радионуклидами ^{137}Cs и 90Sr. // Радиация, экология, здоровье. Сб. науч. трудов. Екатеринбург, 1994. Часть I. С. 169-177.

Сельско-хозяйственная радиоэкология. - Под ред. Р.М. Алексахина и Н.А. Корнеева; М., «Экология», 1991, 397 с.

Тарановская М.Г. Методы изучения корневых систем.- М.: Сельхозиздат, 1957. 261 С.

Таршис Г.К., Мещеряков П.В. Почвенные условия и структура подземных органов однолетних злаков в агроценозах. // Антропогенное воздействие на свойства почв. Свердловск, 1987. С.83-93.

Тимофеев-Ресовский Н.В. Некоторые проблемы радиационной биогеоценологии. Доклад для защиты ученой степени доктора иологических наук. Свердловск, 1962.

Титлянова А.А. Поведение цезия в почвах и слоистых минералах и накопление его растениями. Автореф. дисс.на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. Свердловск, 1963. 24 с.

Тихомиров Ф.А. Распределение и миграция радионуклидов в лесах ВУРС при радиоактивных выпадениях. // Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. М.: Наука, 1993. С. 21-40.

Тихомиров Ф.А., Моисеев И.Т., Алексахин Р.М. Основные закономерности поведения ^{137}Cs в почвах и его перехода в сельскохозяйственные растения. // Изв. АН СССР. Серия биол., 1981, N 1. С. 89-96.

Тюрюканова Э.Б. Радиогеохимия почв полесий Русской равнины. М.: Наука, 1974. 154 с.

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

Федоров Е.А., Романов Г.Н. Количественные характеристики зависимости между уровнями загрязнения внешней среды и концентрациями радиоизотопов в некоторых видах сельскохозяйственной продукции. М.: Атомиздат, 1969. С. 12.

Федоров Е.А., Смирнов Е.Г., Гуро Н.В. Накопление стронция-90 кустарниковым ярусом березового леса. // Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. М.: Наука, 1993. С. 68-70.

Фирсова В.П., Красуский Ю.Г., Мещеряков П.В. Оценка гумусного состояния пахотных почв как основа их рационального использования. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 75 с.

Фирсова В.П., Красуский Ю.Г., Мещеряков П.В., Горячева Т.А. Гумус и почвообразование в агроэкосистемах. - Екатеринбург: «Наука», УрО, 1993. 150 с.

Фирсова В.П., Мещеряков П.В., Прокопович Е.В. Особенности пространственного распределения стронция-90 и цезия-137 в ВУРСа. // Урал атомный: наука, промышленность, жизнь.

Тез. докл. III Междунар. симпозиума. Екатеринбург, 1995. С. 86-88.

Фирсова В.П., Мещеряков П.В., Тощев В.В., Прокопович Е.В. Комплексная оценка состояния почвенного покрова зоны ВУРСа. // Урал атомный: наука, промышленность, жизнь. Тез. докл. II Междунар. симпозиума. Екатеринбург, 1994. С. 64-65.

Фирсова В.П., Молчанова И.В., Тощев В.В., Мамаева Л.К., Милицина О.В., Павлова Т.С., Мещеряков П.В., Караваева Е.Н. Комплексная характеристика радиологического и химического загрязнения почвы, сельскохозяйственной продукции и водных источников на территории пострадавших районов Свердловской области. // Радиация, экология, здоровье. Сб. науч. трудов. Екатеринбург, 1994. Часть I. С. 153-159.

Фирсова В.П., Павлова Т.С. Почвенные условия и особенности биологического круговорота веществ в горных сосновых лесах. М.: Наука, 1983. 165 с.

Фирсова В.П., Павлова Т.С., Дедков В.С. Биогеоценотические связи и почвообразование в сопряженных ландшафтах Среднего Урала. - Свердловск: УрО АН СССР, 1990. - 134 с.

Холлендер М., Вулф Д. Непараметрические методы статистики.- М.: «Финансы и статистика», 1983. 518 с.

Чикишев А.Г. Физико-географическое районирование Урала. Бюл. МОИП Отд. биологии. 1966. Т. 18. С. 7-84.

Чуканов В.Н., Баженов А.В., Волобуев П.В., Коробицин Б.А., Кулигин А.П. Радиоактивное загрязнение территории Свердловской области в результате аварии 1957 г. на ПО «Маяк». // Радиация, экология, здоровье. Сб. науч. трудов. Екатеринбург, 1994. Часть I. С. 23-25. С. 159.

Юдинцева Е.В., Гулякин И.В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. М.: Атомиздат, 1968. 470 с.

Evans E. Y., Dekker A. Y. Fixation and release of ^{137}Cs in soils and soil separetes. // Canad. Y. Soil Sci., 1966, v. 46, N 3. P. 217-221.

Kalbasi M., Racz G. Y., Loewen-Rudgers L. A. Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminium oxides. // Soil Sci., 1978. V. 125, N 8. P.146-150.

Nikipelov B.V., Nikiforow A.S., Kedrowsky O.L., Strakkov M.V., Drozhko E.G. Practical rehabilitation of territories contaminated as a result of implementation ofnuclear material production defence programmes. Moskow, 1990. VNIPI prom technologii, 1990.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

Глава 1

Природные условия районов исследования. 8

Глава 2

Методы полевых и лабораторных исследований. 12

Глава 3

Объекты исследований 22

Глава 4

Результаты и обсуждение 33

4.1 Водно-физические свойства почв 33

4.2 Валовой химический состав 42

4.3 Агрохимическая характеристика почв 45

4.3.1 Лесные почвы 45

4.3.2 Пахотные почвы 49

4.3.3 Луговые почвы 55

Глава 5

Органическое вещество — фактор экологической устойчивости почвенного покрова 64

5.1 Особенности распределения в почвах живых подземных органов растений, пожнивно-корневых остатков и их роль в формировании гумусовых веществ 66

5.2 Запасы углерода общего, его водорастворимых форм и предгумусовой фракции. 74

5.3 Качественный состав гумуса и его роль в накоплении и перераспределении радионуклидов в почвах . . 77

Глава 6

Уровни содержания и характер распределения радионуклидов в почвах и растениях 90

6.1 Содержание радионуклидов в лесных почвах. 90

6.2 Содержание радионуклидов в пахотных почвах. 97

6.3 Содержание радионуклидов в дерново-луговых почвах 109

6.4 К вопросу о круговороте радионуклидов в агроэкосистемах. 121

Заключение 129

Литература 133

Научное издание

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ЗОНЕ ВУРСА

ЛР № 030195 от 25.05.94 г.

Подписано в печать 29.08.96г. Формат 60x84 $^1/_{16}$.
Бумага писчая. Гарнитура Pragmatica. Печать офсетная.
Усл. печ. листов 8,14. Тираж 200 экз. Заказ № 832
АО «Полиграфист». Екатеринбург, ул. Тургенева 20.
Цена договорная.

Книга свёрстана в издательстве «Екатеринбург».
620003, Екатеринбург, ул. Крестинского,27, к. 44.