

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОЛАНДШАФТОВ ЮГО-ЗАПАДА РОССИИ

Е.В. Просянников,
З.Н. Маркина

Россия, Брянская госсельхозакадемия,
Россия, Брянский центр «Агрохимрадиология»

Наведено результати багаторічних досліджень стану агроландшафтів Південно-західного регіону Росії. Починаючи з 1978 року, на типологічних групах агроландшафтів був закладений ключовий моніторинговий полігон, який включає 30 стаціонарних ділянок.

Дана екологічна характеристика агроландшафтів досліджуваного регіону до аварії на Чорнобильській АЕС та після аварії. Наведені дані з надходження радіонуклідів в продукцію рослинництва до та після аварії.

С развитием атомной промышленности и испытаниями ядерного оружия возникла проблема глобального загрязнения биосферы радиоактивными изотопами. 26 апреля 1986 года произошла атомная авария в центре Европы на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), которая отнесена

к глобальной техногенной катастрофе. В настоящее время сельскохозяйственные территории в той или иной степени загрязнены радионуклидами глобальных выпадений.

Пройдя ряд физико-химических трансформаций, выпавшие радионуклиды стали неотъемлемой техногенной составляющей загрязнённых агроландшафтов. Поэтому в регионах, загрязнённых радиоактивными веществами, наиболее актуальным в решении экологических задач является изучение радиоэкологического состояния агроландшафтов и разработка концепции ведения растениеводства в XXI веке.

В Брянской области, наиболее пострадавшей в России в результате чернобыльской катастрофы, создана сеть стационарных ландшафтных участков радиоэкологического мониторинга. Начиная с 1978 года, изучаются особенности распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах агроландшафтов и закономерности перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию. Материалы и результаты исследований применимы для всех агроландшафтов, расположенных в Белорусской и Среднерусской провинциях Южно-таёжной подзоны и в Украинской и Среднерусской провинциях зоны серых лесных почв.

В ходе изучения природных условий и приёмов земледелия в разных регионах страны В.В. Докучаев, его ученики, последователи и современники А.Н. Краснов (1880), А.А. Измаильский (1937, 1949), П.А. Костычев (1951), Г.И. Танфильев (1953), А.И. Воейков (1957), Г.Н. Высоцкий (1960) пришли к убеждению: человек, работающий на земле, всегда и всюду имеет дело не с отдельными природными телами, а с их сложным комплексом - ландшафтом. В широком понимании географический ландшафт представляет собой природный территориальный комплекс, а в узком - конкретную территорию, однородную по своему происхождению, истории развития и неделимую по зональным и незональным признакам, обладающую единым геологическим фундаментом, однотипным рельефом, общим климатом, единообразным сочетанием гидротермических условий почв, биоценозов. Агроландшафт - это трансформированный сельскохозяйственным производством природный ландшафт, как правило, сохраняющий его исходные границы (Николаев, 1992).

Природная ландшафтная структура региона сложна и многообразна. Она оказывает значительное влияние на освоение и хозяйственное использование сельскохозяйственных земель, что, в первую очередь, должно учитываться при мониторинговых исследованиях, особенно радиоэкологических. Учёными Московского госуниверситета им. М.В. Ломоносова в регионе выделено 77 контрастных природных ландшафтов, объединённых в 7 типологических групп, из которых большая часть - агроландшафты: эрозионно-денудационные, ополья, предполья, предполесья, полесья, моренные и речные долины.

В 1978 г. во всех типологических группах агроландшафтов региона был заложен ключевой мониторинговый радиоэкологический полигон, включающий 30 стационарных участков, которые имеют форму квадрата 100×100 м. На каждом из них закладывали основной полнопрофильный разрез, в котором проводили подробный морфологический анализ почвенных профилей и отбирали почвенные образцы по генетическим горизонтам. По диагонали мониторинговых участков ежегодно отбирали буром смешанные почвенные образцы из пахотного и подпахотного горизонтов. Вес смешанного образца для радиохимического и γ -, β -спектрометрического анализов составлял 1,5 - 2 кг. Отбор смешанных проб растений проводили в фазу технической спелости с тех же площадок, на которых отбирали почвенные образцы. Вес растительного образца для проведения радиохимического и γ -, β -спектрометрического анализов ^{90}Sr и ^{137}Cs составлял 2 кг для зерновых, зернобобовых и трав; 5 - 8 кг - для пропашных, овощных и плодовых культур.

При анализе неоднородных по информативности и размерности признаков, характеризующих природные и антропогенные особенности агроландшафтов, применяли многомерный статистический анализ, позволяющий установить скрытые, но объективно существующие закономерности. Этот анализ заключается в определении главных компонент по результатам расчёта корреляционных зависимостей. Они масштабируются так, что сумма квадратов признаков равняется их собственному значению и связано с дисперсией. Это позволяет определить общность каждой главной компоненты с остальными рассматриваемыми признаками ландшафта.

Ординация агроландшафтов в координатах главных компонент даёт возможность осуществить переход от 6-мерного пространства исходных признаков к 2-мерному. По корреляционной матрице выделяются два собственных числа и собственных вектора, которые наиболее значимы для построения двух координат V_1 и V_2 . В системе координат двух главных

компонент в виде лучей распределяются изучаемые признаки. Длина луча характеризует вес каждого признака в данной компоненте.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОЛАНДШАФТОВ ДО АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Агроландшафты юго-запада России в той или иной степени загрязнены радионуклидами дочернобыльского и особенно чернобыльского происхождения. Среди них особого внимания требуют наиболее опасные загрязнители агроэкосистем долгоживущие ^{137}Cs и ^{90}Sr . Антропогенный «цезиевый период» будет продолжаться ещё около трёхсот лет.

Большинство попавших в агроландшафты радионуклидов аккумулируются и трансформируются в почве. Именно она является вторичным и основным источником поступления радиоактивных веществ в продукцию растениеводства и далее в организм сельскохозяйственных животных и человека. Известно, что различные почвы неодинаково передают радионуклиды растениям.

Почвы изучаемых агроландшафтов до аварии на ЧАЭС обладали невысоким и неодинаковым плодородием. По содержанию гумуса они располагались в следующий убывающий ряд: эрозионно-денудационные ландшафты (2,50 %), ополья (2,45 %), полесья (2,02 %), ландшафты речных долин (1,58 %), предполесья (1,56 %), моренные ландшафты (1,37 %), предполья (1,27 %). Характеризовались повышенным содержанием подвижных фосфатов, средним и повышенным содержанием обменного калия, близкой к нейтральной и нейтральной реакции среды, средним содержанием обменного кальция.

Восьмилетние наблюдения за изменением содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах агроландшафтов до аварии на Чернобыльской АЭС свидетельствуют об их заметном варьировании. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в 20-сантиметровом слое почв агроландшафтов в 1978 - 81 и 1982 - 85 годах было невысоким и варьировало соответственно по периодам лет в следующих пределах: 1,54 - 3,23 и 1,16 - 1,64; 1,0 - 2,79 и 1,83 - 2,88 кБк/м². Минимальное содержание ^{137}Cs отмечалось в почвах эрозионно-денудационных ландшафтов. Значительное варьирование содержания ^{137}Cs наблюдали в почвах пойменных ландшафтов. Почвы остальных ландшафтов содержали относительно одинаковое количество ^{137}Cs .

Распределение ^{90}Sr в системе агроландшафтов происходило несколько иначе. Минимальное его содержание обнаружено в предполесьях. Полесье и предполье выделились во вторую группу по загрязнению, а в третью – все остальные ландшафты. Содержание ^{90}Sr колебалось от 2,12 до 2,79 кБк/м². Максимум его концентрирования обозначился в опольях.

Математический анализ целого ряда параметров почвенного плодородия в дочернобыльский период позволил выделить две главные компоненты - глобального дочернобыльского стронциевого загрязнения и кальциевую компоненту, а также сгруппировать по ним агроландшафты региона. Первая группа – ополья и эрозионно-денудационные ландшафты; вторая – предполья, полесья и моренные ландшафты; третья – предполесья; четвертая - ландшафты речных долин (рис. 1).

В дочернобыльский период поступление радионуклидов в продукцию растениеводства было предопределено особенностями почв региона и сельскохозяйственных культур.

В зерне озимой ржи содержание ^{137}Cs колебалось от 0,4 в эрозионно-денудационных до 1,2 Бк/кг в полесских ландшафтах, а ^{90}Sr от 0,9 в опольских до 2,9 Бк/кг в моренных ландшафтах. Различия в накоплении между ландшафтами составили по ^{137}Cs 5,2, а по ^{90}Sr – 3,1 раза.

В зерне озимой пшеницы содержание ^{137}Cs составляло 0,4 в эрозионно-денудационных и 1,2 Бк/кг в полесских ландшафтах. Менее всего ^{90}Sr накапливалось в предпольских ландшафтах (1,3 Бк/кг), а большее всего – в предполесьях (3,4 Бк/кг). Вариабельность величин накопления в зерне озимой пшеницы ^{137}Cs составила 2,9, а ^{90}Sr - 2,6 раза.

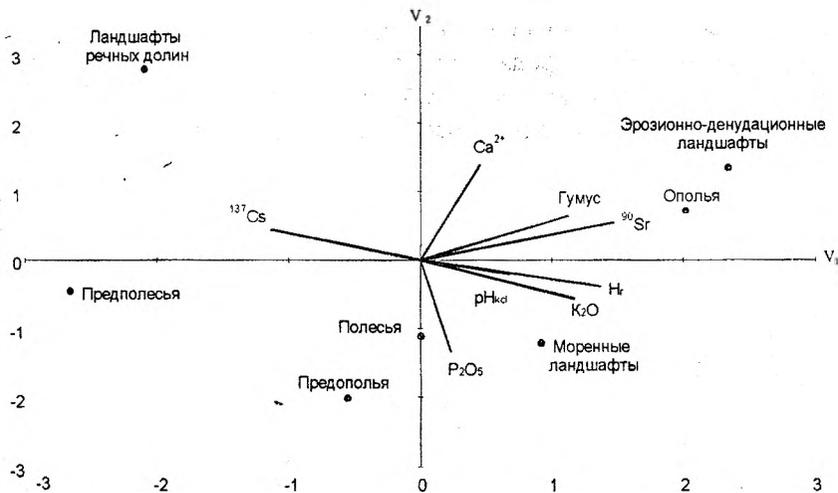


Рис. 1. Ординация типологических групп агроландшафтов по агрохимическим свойствам почв (среднее за 1978-85 гг.)

Яровые зерновые культуры (овес и ячмень) накапливали несколько меньше радионуклидов в урожае, чем озимые. Вариабельность величин ^{137}Cs у ячменя – 0,3 – 1,2 Бк/кг или 3,8 раза, у овса – 0,7 – 1,8 Бк/кг или 2,5 раза. Накопление ^{90}Sr в зерновых культурах выше, чем ^{137}Cs .

Типологические группы агроландшафтов различаются по накоплению радиостронция в ячмене в 4,9, а в овсе – в 2,9 раза.

Картофель среди продовольственных культур меньше всего накапливал радионуклиды. Содержание ^{137}Cs в клубнях, выращенных в опольях, составляло 0,3 Бк/кг, а в моренных ландшафтах – 0,7 Бк/кг. Меньше всего ^{90}Sr накапливалось в моренных ландшафтах (0,2), а больше в предопольях (3,9 Бк/кг). Агроландшафты различались по переходу ^{137}Cs в клубни картофеля 2,3, а ^{90}Sr – 16,6 раза. Поступление ^{90}Sr в картофель в большинстве агроландшафтов было выше, чем ^{137}Cs . Однако, в полесских и моренных ландшафтах превалировало поступление ^{137}Cs над ^{90}Sr .

Кормовые культуры по накоплению ^{90}Sr значительно различались. В зеленой массе смеси кукурузы с подсолнечником его содержание составляло 19,4 Бк/кг. Минимальная величина накопления была отмечена у люпина – 2,1 Бк/кг. Содержание радиоцезия в кормовых культурах было примерно одинаковое во всех типологических группах агроландшафтов и варьировало от 1,1 до 1,6 Бк/кг.

До аварии на Чернобыльской АЭС в изучаемых агроландшафтах больше накапливалось радионуклидов корнеплодами кормовой свёклы, чем сахарной. Агроландшафты различаются по накоплению ^{137}Cs в корнеплодах сахарной свёклы по сравнению с кормовой в 1,2 – 3,2 раза, ^{90}Sr – в 2,1 – 3,6 раза.

Сеянные многолетние травы незначительно накапливали ^{137}Cs во всех типологических группах ландшафтов. Накопление ^{90}Sr превышало содержание ^{137}Cs в сене в 5-15 раз.

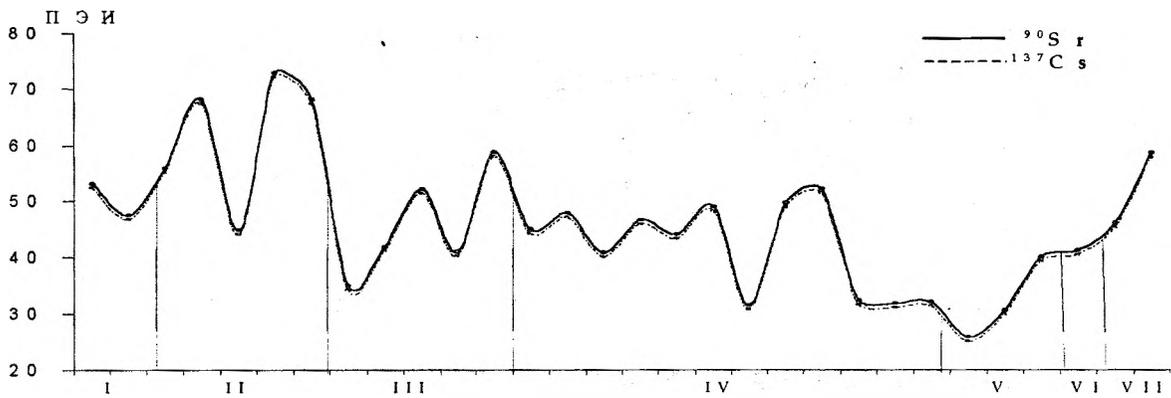
Естественные многолетние травы занимали особое положение. В них содержание ^{137}Cs превышало его накопление сеянными травами I укоса в 15 – 33, а II укоса – 23 – 60 раз. Поступление ^{90}Sr в фитомассу трав естественных кормовых угодий находилось на уровне накопления его сеянными многолетними травами.

Почвенно-экологическая оценка агроландшафтов до аварии на ЧАЭС.

В Почвенном институте им. В.В. Докучаева разработана методика и технология почвенно-экологической оценки, позволяющая определить почвенно-экологический индекс (ПЭИ), который основывается на целом ряде интегральных природных показателей (географическое расположение, климатические, геоморфологические, литологические, гидрологические и другие факторы), характеризующих не только почву и почвенный покров территории, но и агроландшафт в целом. Поэтому её, по нашему мнению, можно использовать для экологической оценки агроландшафтов. Технология расчётов ПЭИ позволяет также

учитывать различные антропогенные воздействия на агроландшафт, в том числе и радиационные (Просянкин, 1995).

В доаварийный период изучаемые агроландшафты по почвенно-экологической оценке распределялись следующим образом (рис. 2).

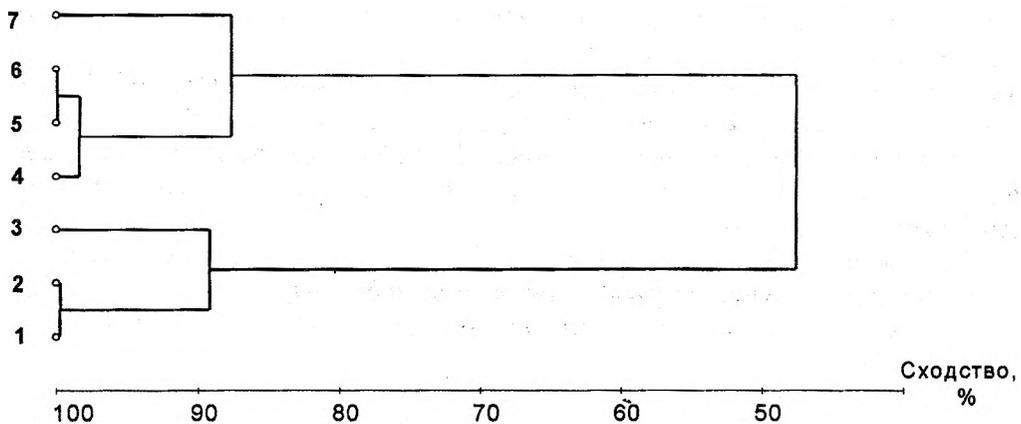


Типологические группы ландшафтов:

I – эрозионно-денудационные; II – ополья; III – предополья; IV – предполесья;
V – полесья; VI – моренные; VII – речные долины

Рис. 2. Почвенно-экологическая оценка агроландшафтов до аварии на ЧАЭС

Почвенно-экологическая оценка агроландшафтов на территории региона исследований до аварии на ЧАЭС позволила объединить их в следующие три группы: I – эрозионно-денудационные, ландшафты речных долин, ополья; II – предополья, предполесья, моренные ландшафты; III - полесья (рис. 3).



Агроландшафты:

1 – эрозионно-денудационные; 2 – речные долины; 3 – ополья; 4 – предополья; 5 – предполесья; 6 – моренные; 7 – полесья

Рис. 3. Почвенно-экологическая группировка агроландшафтов до аварии на ЧАЭС

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОЛАНДШАФТОВ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

Учеными подсчитано, что аварийный чернобыльский выброс только по цезию-137 равнялся трёмстам Хиросимам (Тараканов, 1998).

По данным Минсельхозпрода РФ на 1 января 1997 г., радиоактивному цезиевому загрязнению подверглись 3603,58 тыс. гектаров (11,8 %) сельхозугодий. Наибольшие площади и плотности загрязнения распространены в Брянской области. Здесь радиоактивное загрязнение

агрландшафтов привело к серьёзному нарушению нормального темпа работ в сельском хозяйстве, но не остановило их. В области было выведено из сельскохозяйственного оборота более 17 тыс. га угодий, полностью прекратили сельскохозяйственную деятельность три колхоза в Красногорском и Новозыбковском районах, в 47 хозяйствах были существенно изменены специализация и структура посевных площадей.

Создавшаяся после чернобыльской катастрофы радиозэкологическая обстановка потребовала проведения масштабных противорадиационных мероприятий. За период с 1986 по 1990 годы только в юго-западных районах Брянской области было глубоко перепахано 180 тыс. га сельскохозяйственных угодий, внесено калийных удобрений на площади 245,5 тыс. га, профосфоритовано 104,1 тыс. га, произвестковано 202,4 тыс. га, проведено коренное улучшение сенокосно-пастбищных угодий на площади 97,6 тыс. га.

Применение высоких доз органических, минеральных, в первую очередь, калийных удобрений и известковых материалов способствовало изменению параметров почвенного плодородия (табл. 1).

В поставарийный период в эрозионно-денудационных ландшафтах возросли pH_{kcl} , содержание гумуса и подвижного фосфора, уменьшились гидролитическая кислотность и содержание обменного кальция, содержание обменного калия не изменилось.

В опольских агроландшафтах величина pH_{kcl} практически не изменилась, несколько уменьшилась гидролитическая кислотность, содержание кальция и сумма поглощенных оснований. Основные параметры плодородия – содержание гумуса, фосфора, калия – значительно улучшились.

В предопольях pH_{kcl} не изменился, увеличилось содержание подвижного фосфора, обменного калия и гумуса, уменьшились гидролитическая кислотность и содержание кальция.

Таблица 1

Изменение агрохимических показателей почв агроландшафтов
после аварии на ЧАЭС

Типологические группы ландшафтов	pH_{kcl}		P_2O_5		K_2O		Гумус, %	
			мг на 100 г почвы					
	I	II	I	II	I	II	I	II
Эрозионно-денудационные	6,6	5,8	14,2	25,8	15,7	15,8	2,50	2,90
Ополя	5,9	5,8	17,2	31,0	15,5	24,1	2,45	2,81
Предополья	6,2	6,3	19,6	27,1	17,3	20,2	1,27	1,80
Предполесья	5,9	5,8	18,4	24,8	10,8	14,6	1,56	1,70
Полесья	6,6	6,6	22,0	31,9	11,9	17,8	2,02	2,79
Моренные ландшафты	6,6	6,7	19,3	24,6	15,7	6,8	1,37	2,15
Речные долины	6,2	6,0	9,4	12,2	10,7	7,4	1,58	2,00

Таблица 1 (окончание)

Типологические группы ландшафтов	H_r		Ca^{2+}		S	
	мг-экв на 100 г почвы					
	I	II	I	II	I	II
Эрозионно-денудационные	1,8	1,30	11,3	10,6	20,4	19,4
Ополя	2,1	1,70	9,8	5,6	21,8	17,0
Предополья	1,6	0,78	4,8	5,2	10,8	11,6
Предполесья	1,9	1,00	6,9	5,1	8,7	7,9
Полесья	1,9	0,70	6,4	5,6	13,6	18,5
Моренные ландшафты	1,1	0,27	7,4	7,5	22,4	22,2
Речные долины	1,3	0,94	11,5	7,6	21,6	25,6

I – до аварии; II – после аварии

В предполесьях и полесьях величина pH_{kcl} осталась без изменений, уменьшилась гидролитическая кислотность и содержание кальция, увеличилось содержание подвижных фосфатов, обменного калия, гумуса.

В моренных ландшафтах и речных долинах уменьшилось содержание обменного калия и гидролитическая кислотность. pH_{kcl} сохранился на доаварийном уровне, увеличилось содержание подвижного фосфора, гумуса и сумма поглощенных оснований. Уменьшение содержания обменного кальция отмечено в моренном ландшафте.

Активное применение после аварии на ЧАЭС высоких доз извести позволило сохранить в агроландшафтах близкую к нейтральной и нейтральную реакцию почвенной среды, значительно уменьшить гидролитическую кислотность и увеличить сумму обменных оснований.

Отмечено заметное уменьшение содержания кальция в почвах ополей и в речных долинах.

Увеличение объёмов фосфоритования и внесения повышенных доз калийных удобрений привело к заметному повышению содержания подвижного фосфора в почвах всех типологических групп агроландшафтов региона и увеличению содержания обменного калия в почвах ополей, предополей, предполесий и полесий.

В моренных ландшафтах и речных долинах, где не применяли повышенных доз калийных удобрений, содержание обменного калия значительно снизилось, произошло уменьшение этого показателя от среднего к низкому, что впоследствии приведёт к увеличению накопления радионуклидов в продукции растениеводства.

Систематические наблюдения на ключевых мониторинговых стационарных участках свидетельствуют не только о неравномерности загрязнения агроландшафтов в начальный период, но и о значительном снижении активности по мере удаления от момента аварии (рис.4).



Рис. 4. Динамика загрязнения почв агроландшафтов ^{137}Cs

По отношению к доаварийному периоду увеличение содержания ^{137}Cs в почвах агроландшафтов колебалось от 29 (полесья) до 747 раз (предполесья). В 1987-90 гг. наблюдали увеличение содержания радиоцезия в пяти группах агроландшафтов, что обусловлено вторичным перераспределением их по территории вследствие перемещения водных и воздушных потоков. Возможно и дополнительное выпадение радионуклидов из атмосферы, которая стала своеобразным резервуаром радиоактивных аэрозолей.

К концу 1990 года в регионе сформировалось относительно равномерное цезиевое загрязнение. Содержание ^{137}Cs колебалось от 93,6 в моренных ландшафтах до 882,8 кБк/м² в предполесьях. Превышение величин доаварийного периода составляло 52 – 186 раз. Начиная с 1991 года наблюдается улучшение радиоекологической ситуации в агроландшафтах, что связано с естественным распадом коротко-, средне- и частично долгоживущих радиоизотопов, проведением комплекса защитных мероприятий и перераспределением радионуклидов в радиальном и латеральном направлениях. В настоящее время содержание ^{137}Cs в почвах агроландшафтов колеблется от 42,9 в полесьях и до 486,5 кБк/м² в предполесьях.

Чернобыльское загрязнение ^{90}Sr превысило его доаварийное содержание в агроландшафтах в 4,4 – 25,6 раз (рис. 5).

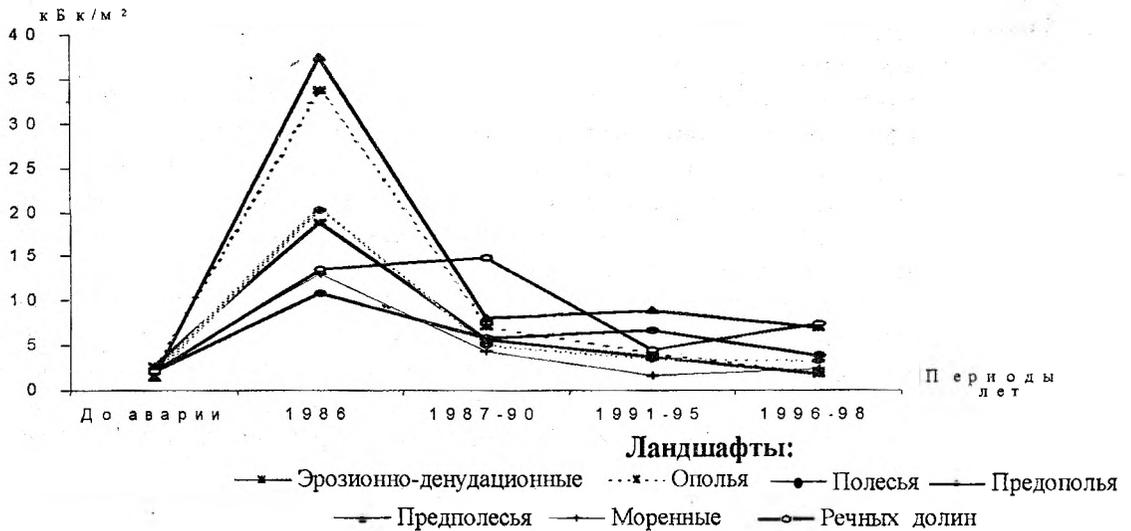
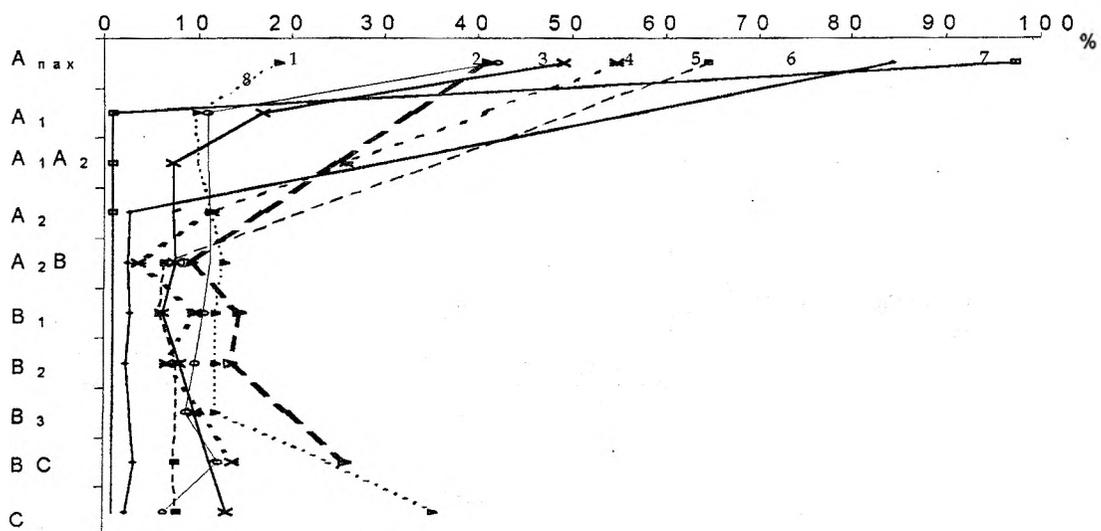


Рис. 5. Динамика загрязнения почв агроландшафтов ^{90}Sr

Максимальное увеличение ^{90}Sr прослеживалось в опольских и предполесских ландшафтах. Необходимо отметить, что в предполесьях, расположенных в юго-западной части Брянской области, обнаружены микропятна с содержанием ^{90}Sr до 74 kBq/m².

В 1996-98 годах содержание ^{90}Sr в почвах агроландшафтов находилось на уровне доаварийных величин, кроме предполесских, где величина превышения составляла 5 раз.

Изучение особенностей распределения ^{137}Cs по профилю почв агроландшафтов показало, что независимо от группы ландшафтов основное количество радионуклида сосредоточено в верхнем генетическом горизонте, где он прочно связывается с органическим веществом и глинистыми минералами (рис. 6).



Ландшафты:
1 – речные долины (улучшенные); 2 – моренные; 3 – ополья;
4 – эрозионно-денудационные; 5 – полесья; 6 – предополья; 7 – предполесья;
8 – речные долины (естественные)

Рис. 6. Распределение ^{137}Cs по профилю почв агроландшафтов

В почвах агроландшафтов наблюдается вертикальная миграция радиоцезия вплоть до материнской породы. В некоторых опольских и предполесских ландшафтах установлены вторичные зоны аккумуляции его на глубине 50-120 см. В условиях значительного радиоактивного загрязнения этот процесс маскируется высоким содержанием ^{137}Cs в верхнем генетическом горизонте почв (рис. 6).

Математический анализ параметров почвенного плодородия с учётом цезиевого загрязнения в постчернобыльский период позволил выделить среди них две главные компоненты - содержание обменного калия и аварийное радиоактивное загрязнение ^{137}Cs , а также сгруппировать по ним агроландшафты региона. Первая группа - ополья, эрозионно-денудационные ландшафты, полесья и моренные ландшафты; вторая - предополья и ландшафты речных долин; третья - предполесья (рис. 7).

Анализ параметров почвенного плодородия с учётом стронциевого загрязнения в постчернобыльский период позволил выделить среди них две главные компоненты - содержание обменного калия и реакция почвенной среды, а также сгруппировать по ним агроландшафты региона. Первая группа - ополья и эрозионно-денудационные ландшафты; вторая - предполесья и ландшафты речных долин; третья - предополья, полесья и моренные ландшафты (рис. 8).

Радиоизотопы цезия и стронция, выпавшие на территории региона, не вызвали заметных повреждений растений, однако в урожае сельскохозяйственных культур они накапливаются в значительных количествах во всех группах агроландшафтов.

В 1986 году для зерновых культур и многолетних трав преобладающим было поверхностное загрязнение, для пропашных культур - как поверхностное, так и корневое.

Наиболее загрязненными оказались посевы озимой ржи в предопольях. Содержание радиоцезия в зерне составляло 310 Бк/кг, что в 337 раз превышало доаварийный уровень. Менее загрязненным оказался ячмень (23 Бк/кг) в эрозионно-денудационных ландшафтах.

Загрязнение радиостронцием также было неравномерным. Из зерновых культур наиболее загрязнена озимая рожь в предопольях (46 Бк/кг) и кукуруза (109 Бк/кг) в опольях. Уровень загрязнения по озимой ржи превышал доаварийный в 40 раз, по кукурузе - в 14 раз.

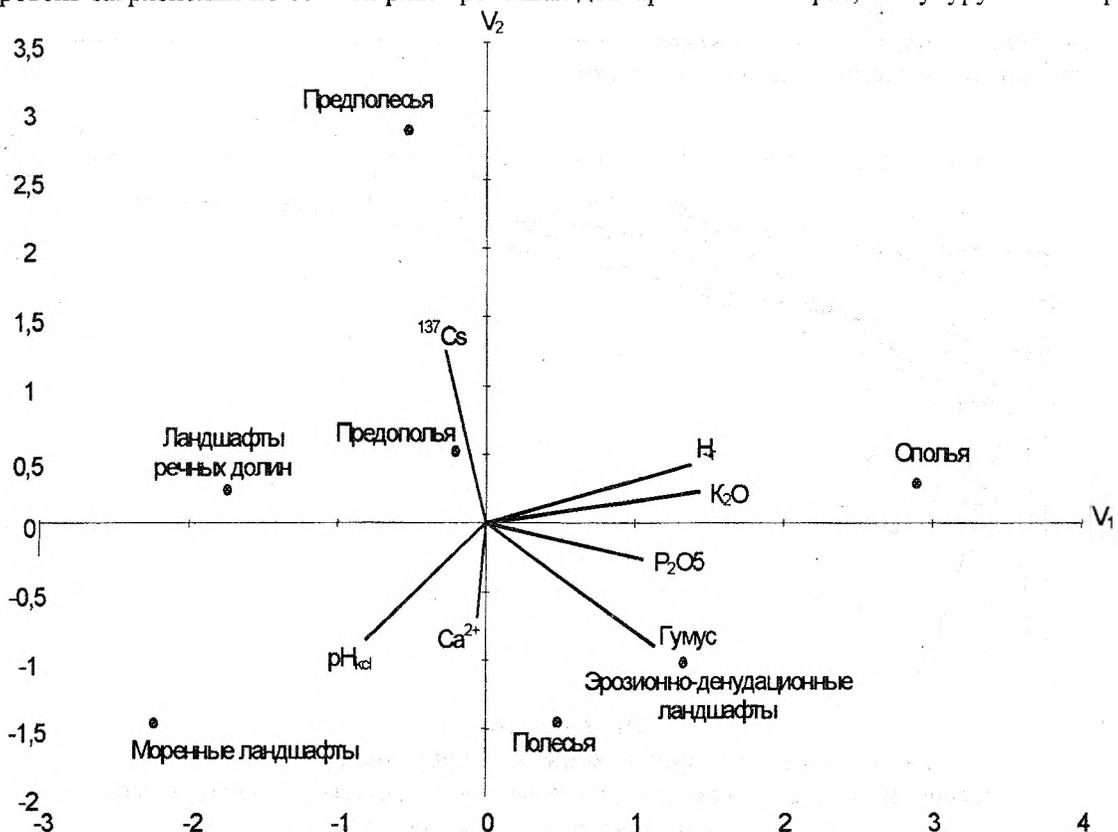


Рис. 7. Ординация агроландшафтов по агрохимическим показателям с учетом чернобыльского цезиевого загрязнения

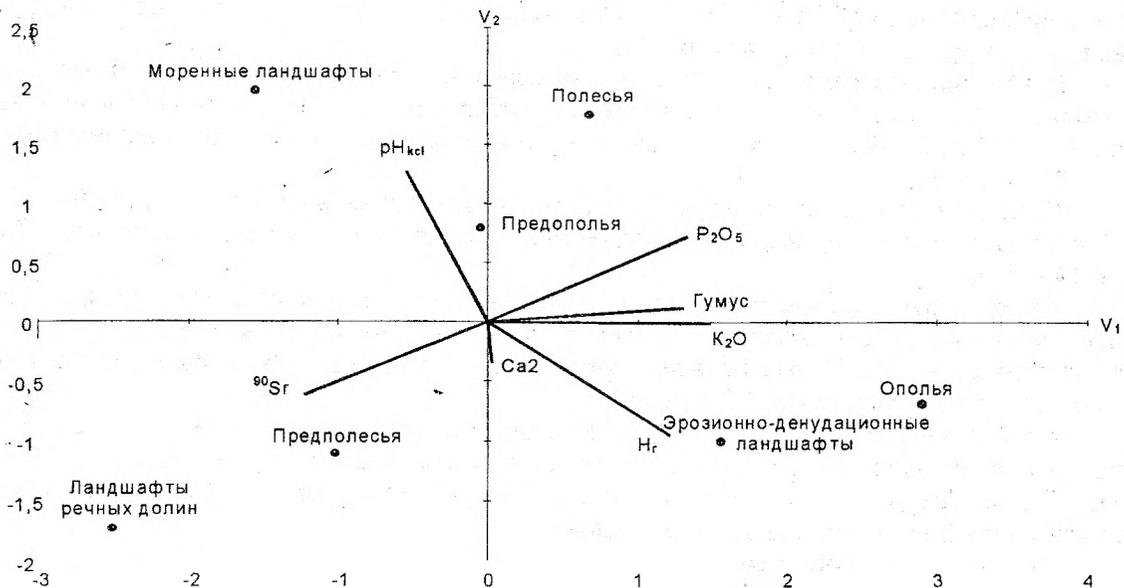


Рис. 8. Ординация агроландшафтов по агрохимическим показателям с учётом чернобыльского стронциевого загрязнения

В 1986 году формирование урожая картофеля проходило при отсутствии глубинного загрязнения. Максимально загрязненными клубни были в предполесьях, где осела основная масса радиоактивных веществ.

Загрязнение трав радионуклидами зависело от количества и времени их выпадений. Так как наибольшее количество радиоактивных осадков выпало в юго-западной части региона, то здесь загрязнение фитомассы трав было максимальным как на пахотных (408 Бк/кг), так и на естественных (534 Бк/кг) кормовых угодьях. Аналогичная ситуация складывалась и по ^{90}Sr . Вследствие поверхностного загрязнения его содержание в 1 кг сена составляло 533 Бк, что в 38 раз превышало доаварийный уровень.

Через 10 лет после катастрофы на ЧАЭС (1996-98 гг.) вследствие распада коротко-, средне- и частично долгоживущих радионуклидов, развития миграционных процессов и проведённого комплекса агротехнических и агрохимических мероприятий, а также преобладания корневого поступления содержание ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных культур заметно снизилось во всех типологических группах ландшафтов.

В зерне озимой ржи содержание ^{137}Cs колебалось от 15,2 Бк/кг в предопольях до 41,4 Бк/кг в опольях, а ^{90}Sr от 0,9 в полесьях до 4,4 Бк/кг в предполесьях. Различия в накоплении между ландшафтами составили по ^{137}Cs 2,7, а по ^{90}Sr – 5,0 раз.

В зерне озимой пшеницы содержание ^{137}Cs составляло 3,7 в полесьях и 16,2 Бк/кг в опольях. Менее всего ^{90}Sr накапливалось в опольях (0,8 Бк/кг), а большее – в моренных ландшафтах (2,7 Бк/кг). Вариабельность величин накопления в зерне озимой пшеницы ^{137}Cs составила 4,4, а ^{90}Sr – 3,4 раза.

В зерне ячменя менее всего накапливалось ^{137}Cs и ^{90}Sr в эрозионно-денудационных ландшафтах (13,5 и 0,3 Бк/кг соответственно), а большее всего – в предопольях (17,1; 4,1 Бк/кг соответственно). Вариабельность величин накопления в зерне ячменя ^{137}Cs составила 1,3, а ^{90}Sr – 14,0 раз.

В зерне овса ^{137}Cs содержалось 7,4 в моренных и 38,0 Бк/кг в опольских ландшафтах. Менее всего ^{90}Sr накапливалось в полесьях (0,6 Бк/кг), а большее всего – в моренных ландшафтах (3,2 Бк/кг). Вариабельность величин накопления в зерне ячменя ^{137}Cs составила 5,1, а ^{90}Sr – 5,3 раза.

В клубнях картофеля меньше всего накапливалось ^{137}Cs (3,7 Бк/кг) в предопольях, ^{90}Sr – 0,2 Бк/кг в опольях. Наибольшее накопление радиоцезия отмечалось в предполесьях – 14,8 Бк/кг, а радиостронция – в эрозионно-денудационных ландшафтах – 6,8 Бк/кг. Агроландшафты различались по переходу ^{137}Cs в клубни картофеля в 4,0, а ^{90}Sr – 34,0 раза.

В зеленой массе кукурузы наименьшее накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr отмечалось в опольях (9,2; 2,1 Бк/кг соответственно), наибольшее накопление ^{137}Cs было в предопольях (188,7 Бк/кг),

а ^{90}Sr – в предполесьях (9,7 Бк/кг). Различия в накоплении радионуклидов по агроландшафтам составили 20,5 раз по ^{137}Cs и 4,6 раза по ^{90}Sr .

В корнеплодах сахарной свёклы наименьшее накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr отмечалось в предопольях (3,7; 1,2 Бк/кг соответственно), наибольшее – в эрозионно-денудационных ландшафтах (14,9; 2,7 Бк/кг соответственно). Различия в накоплении ^{137}Cs по агроландшафтам – 4,0, а ^{90}Sr – 2,2 раза.

Сеянные многолетние травы во всех агроландшафтах накапливали ^{137}Cs (61,0 – 172,5 Бк/кг) значительно меньше, чем естественные. Его содержание превышало накопление ^{90}Sr в сене в 14 – 35 раз.

Естественные многолетние травы по сравнению с сеянными накапливали ^{137}Cs в речных долинах, почвы которых подверглись окультуриванию, в 2,9 – 8,2, а на неокulturенных – 6 – 17 раз больше. Превышение содержания ^{90}Sr в сене естественных многолетних травах составляло 2,5 – 7 раз.

Математический анализ данных агрохимических свойств почв, определяющих поступление радионуклидов в основную продукцию сельскохозяйственных культур, позволил выделить среди них по две главные компоненты, которые ниже указаны для каждой культуры, и сгруппировать по ним агроландшафты региона.

Загрязнение радиоцезием.

Озимая пшеница. Главные компоненты – содержание обменного калия и гумуса. Предопольские и предполесские агроландшафты отличались наименьшим накоплением радиоцезия в зерне, больше всего его накапливалось в моренных ландшафтах. Ополья, полесья и эрозионно-денудационные ландшафты занимали промежуточное положение.

Картофель. Главные компоненты – содержание гумуса и обменного калия. Предопольские и предполесские агроландшафты отличались наименьшим накоплением радиоцезия в клубнях, больше всего его накапливалось в эрозионно-денудационных ландшафтах. Ополья занимали промежуточное положение.

Многолетние травы (сено). Главные компоненты – содержание подвижного фосфора и гидrolитическая кислотность. Предполесья отличались наименьшим накоплением радиоцезия в сене, больше всего его накапливалось в речных долинах. Ополья, предополья и полесья занимали промежуточное положение.

Загрязнение радиостронцием.

Озимая пшеница. Главные компоненты – содержание обменного калия и кальция. Ополья, предополья и полесья отличались наименьшим накоплением радиостронция в зерне, больше всего его накапливалось в моренных ландшафтах. Эрозионно-денудационные и предполесские ландшафты занимали промежуточное положение.

Картофель. Главные компоненты – содержание гумуса и обменного калия. В клубнях меньше всего накапливалось ^{90}Sr в предопольях и предполесьях, а больше всего – в эрозионно-денудационных ландшафтах. Ополья занимали промежуточное положение.

Многолетние травы (сено). Главные компоненты – содержание подвижного фосфора и $p\text{H}_{\text{кел}}$. Ополья и окультуренные пойменные угодья отличались наименьшим накоплением ^{90}Sr в сене, больше всего его накапливалось в предопольях и естественных поймах. Предполесья и полесья занимали промежуточное положение.

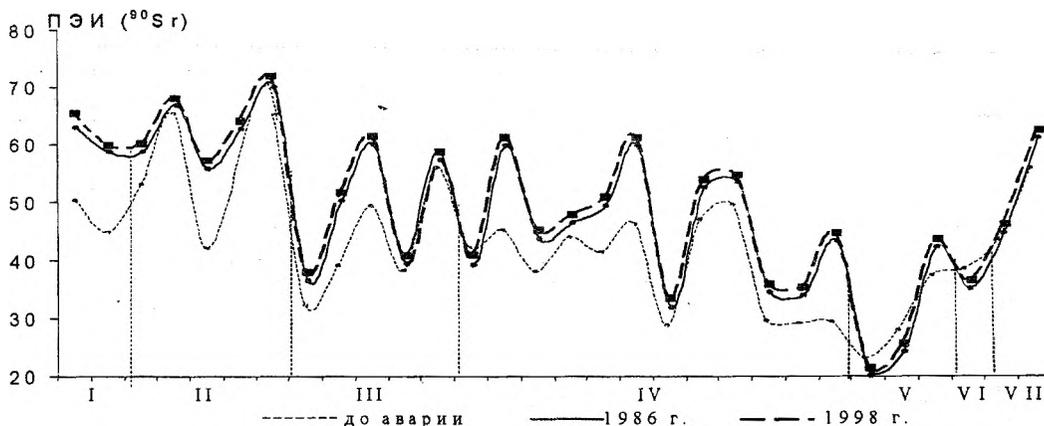
Критерием оценки качества сельхозпродукции и кормов являются гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов (СанПиН – 2.3.2. – 96) и контрольные уровни (КУ – 94) в кормах, которые регламентируют дозовую нагрузку на население. Накопление радионуклидов в продукции растениеводства во всех агроландшафтах соответствует санитарно-гигиеническим нормативам, кроме сена естественных многолетних трав речных долин.

Экологический «профиль» сопряжённых агроландшафтов, построенный по величинам ПЭИ с учётом чернобыльского цезиевого загрязнения на разных этапах поставарийного периода и реабилитационных мероприятий, свидетельствует о существенных изменениях экологической обстановки в предполесьях и опольях (рис. 9).

Агроландшафты по агрохимическим показателям почв, обусловленным применением реабилитационных мероприятий с учётом загрязнения ^{137}Cs , объединились в следующие 3 группы: I – эрозионно-денудационные ландшафты и ополья; II – предополья, предполесья и ландшафты речных долин; III – полесья и моренные ландшафты (рис. 10).

Экологический «профиль» сопряжённых агроландшафтов, построенный по величинам ПЭИ с учётом чернобыльского стронциевого загрязнения на разных этапах поставарийного периода и реабилитационных мероприятий, свидетельствует об отсутствии существенных изменений экологической обстановки в агроландшафтах (рис. 11).

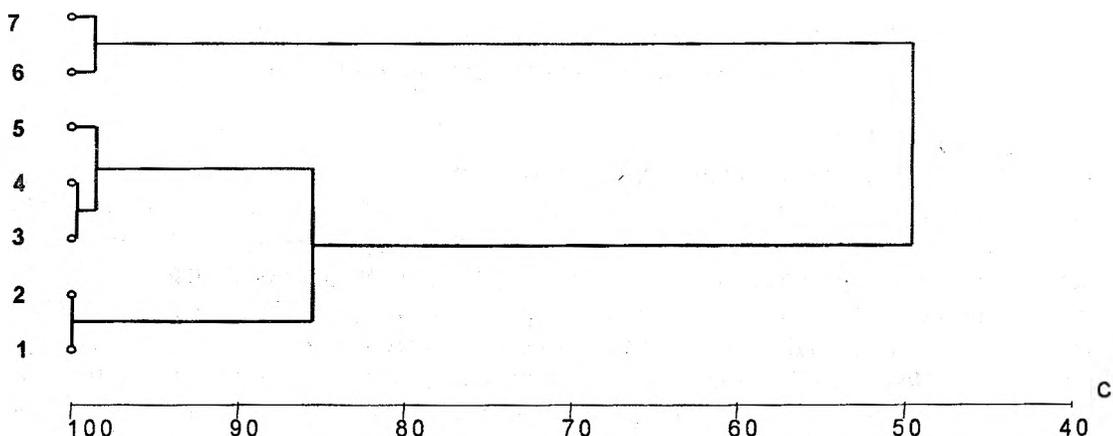
Агроландшафты по агрохимическим характеристикам почв, обусловленным применением антирадиационных мероприятий с учётом загрязнения ^{90}Sr , объединились в следующие 3 группы: I – эрозионно-денудационные ландшафты и ополья; II – предополья, предполесья и ландшафты речных долин; III – полесья и моренные ландшафты (рис. 12).



Ландшафты:

I – эрозионно-денудационные; II – ополья; III – предополья; IV – предполесья;
V – полесья; VI – моренные; VII – речных долин

Рис. 11. Почвенно-экологическая оценка агроландшафтов после аварии на ЧАЭС с учетом стронциевого загрязнения



Ландшафты:

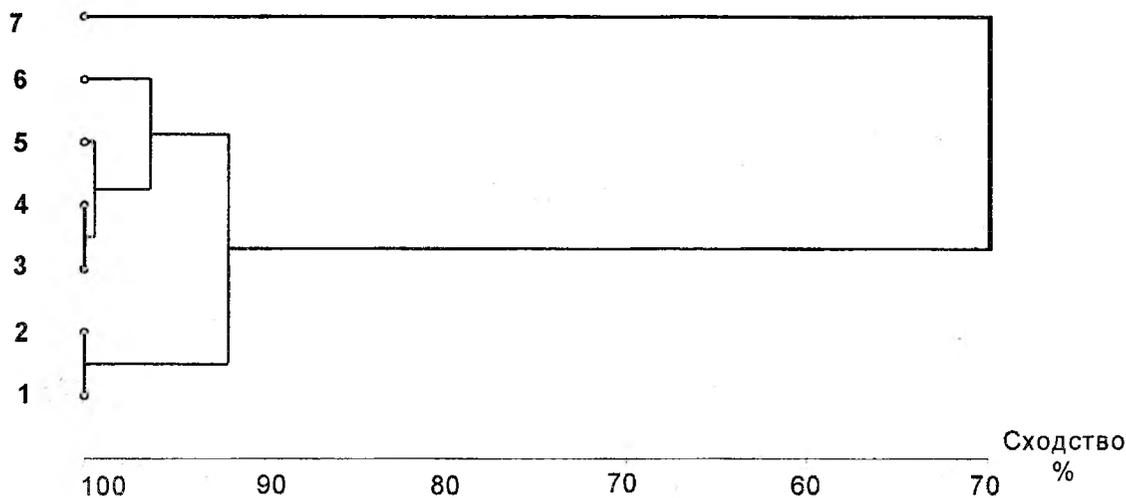
1 – эрозионно-денудационные; 2 – ополья; 3 – предополья; 4 – предполесья;
5 – речные долины; 6 – полесья; 7 – моренные

Рис. 12. Почвенно-экологическая группировка агроландшафтов после аварии на ЧАЭС с учётом стронциевого загрязнения

Величина последствий антропогенных воздействий на природную среду определяется не только их видом и интенсивностью, но и условиями развития негативных процессов в агроландшафтах, то есть степенью их устойчивости к антропогенной нагрузке. Устойчивость – это способность агроландшафтов сохранять свою структуру и функциональные возможности при воздействии внешних и внутренних факторов, а также противостоять внешним и внутренним возмущениям (Глазовская, 1976, 1997; Солнцева, 1982; Солнцева и др., 1982; Снакин и др., 1992; Смольянинов и др., 1996).

Устойчивость агроландшафтов к антропогенному воздействию после аварии на ЧАЭС неодинакова. Самая низкая устойчивость - у предполесий (3,5), наиболее высокая - в полесьях (0,4). Остальные агроландшафты характеризуются следующими уровнями устойчивости: эрозионно-денудационные - 0,9, ополья - 0,6, предополья - 0,7, моренные - 0,6, речные долины - 0,9.

Агроландшафты по устойчивости к цезиевому загрязнению объединяются в следующие группы: I - эрозионно-денудационные ландшафты и речные долины; II - опольские, моренные, предопольские и полесские ландшафты; III - предполесья (рис. 13).



Ландшафты:

1 - эрозионно-денудационные; 2 - речные долины; 3 - ополья; 4 - моренные;
5 - предополья; 6 - полесья; 7 - предполесья

Рис. 13. Группировка агроландшафтов по устойчивости к цезиевому загрязнению после аварии на ЧАЭС

ВЫВОДЫ

1. Важнейшим структурно-генетическим рядом, определяющим сущность ландшафтной структуры в экологии региона и её влиянии на антропогенные процессы, является эрозионно-денудационные возвышенные лёссовые равнины - ополья - предополья - предполесья - полесья. Большая часть их трансформирована в агроландшафты. Ландшафтная структура региона исследований повлияла на процессы радионуклидного загрязнения, что обусловило его неоднородность, сложность и мозаичность.

2. Почвенный покров агроландшафтов региона характеризуется большим разнообразием и пестротой. Принадлежность территории к двум почвенным зонам, четырём провинциям, множеству ландшафтов и экосистем определила только наиболее общие закономерности распределения почв, среди которых преобладают дерново-подзолистые и серые лесные.

3. До аварии на ЧАЭС почвы агроландшафтов региона характеризовались неодинаковыми агрохимическими свойствами. По содержанию гумуса они располагались в следующий убывающий ряд: эрозионно-денудационные ландшафты (2,50 %), ополья (2,45 %), полесья (2,02 %), ландшафты речных долин (1,58 %), предполесья (1,56 %), моренные ландшафты (1,37 %), предополья (1,27 %). Их агрохимическими особенностями были повышенное содержание подвижных фосфатов, среднее и повышенное содержание обменного калия, близкая к нейтральной и нейтральная реакция среды, среднее содержание обменного кальция.

4. Математический анализ агрохимических показателей почв региона в дочернобыльский период и без учёта глобального радиоактивного загрязнения позволил выделить две главные компоненты - природную и компоненту аграрного воздействия, а также сгруппировать по ним агроландшафты региона. Первая группа - ополья и эрозионно-

денудационные ландшафты, вторая – предополья, предполесья, полесья и моренные ландшафты, третья – ландшафты речных долин.

5. Восьмилетние наблюдения за изменением содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах агроландшафтов до аварии на ЧАЭС свидетельствуют об их заметном варьировании. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в 20-сантиметровом слое почв агроландшафтов в 1978 - 81 и 1982 - 85 годах было невысоким и варьировало соответственно по периодам лет в следующих пределах: 1,54 - 3,23 и 1,16 - 1,64; 1,0 - 2,79 и 1,83 - 2,88 кБк/м². Минимальное содержание ^{137}Cs отмечалось в почвах эрозионно-денудационных ландшафтов. Значительное варьирование его наблюдали в почвах речных долин. Почвы остальных ландшафтов содержали относительно одинаковое количество ^{137}Cs .

6. Распределение ^{90}Sr в системе агроландшафтов происходило несколько иначе. Его содержание колебалось от 2,12 до 2,79 кБк/м². Минимальное количество обнаружено в предполесьях. Полесья и предополья выделились во вторую группу по загрязнению, а в третью – остальные ландшафты. Максимум концентрирования ^{90}Sr обозначился в опольях.

7. Математический анализ целого ряда параметров почвенного плодородия в дочернобыльский период и с учётом глобального радиоактивного загрязнения позволил выделить две главные компоненты - глобального дочернобыльского стронциевого загрязнения и кальциевую компоненту, а также сгруппировать по ним агроландшафты региона. Первая группа – ополья и эрозионно-денудационные ландшафты; вторая – предополья, полесья и моренные ландшафты; третья – предполесья; четвертая - ландшафты речных долин.

8. Систематические наблюдения на ключевых мониторинговых стационарных участках, проведенные после катастрофы на ЧАЭС, свидетельствуют о неравномерности загрязнения агроландшафтов. По отношению к доаварийному периоду увеличение содержания ^{137}Cs в почвах типологических групп агроландшафтов колебалось от 28,8 раз в полесьях и до 746,5 раз в предполесьях. Дополнительное наложение ^{90}Sr на существующие уровни в агроландшафтах составило 8,8-35,9 кБк/м², что превышало доаварийное содержание ^{90}Sr в 4,4 – 25,6 раз.

9. Математический анализ целого ряда параметров почвенного плодородия с учётом аварийного цезиевого загрязнения в постчернобыльский период позволил выделить по ним две главные компоненты - природную и компоненту цезиевого загрязнения, а также сгруппировать по ним агроландшафты региона. Первая группа – ополья, эрозионно-денудационные ландшафты, полесья и моренные ландшафты; вторая – предополья и ландшафты речных долин; третья – предполесья.

10. Математический анализ целого ряда параметров почвенного плодородия с учётом аварийного стронциевого загрязнения в постчернобыльский период позволил выделить по ним две главные компоненты – природную и компоненту аграрного воздействия, а также сгруппировать по ним агроландшафты региона. Первая группа – ополья и эрозионно-денудационные ландшафты; вторая – предполесья и ландшафты речных долин; третья – предополья, полесья и моренные ландшафты.

11. Через 10 лет после чернобыльской катастрофы (в 1996-98 гг.) накопление радионуклидов в продукции растениеводства во всех агроландшафтах соответствовало санитарно-гигиеническим нормативам, кроме сена естественных многолетних трав речных долин.

12. Почвенно-экологическая оценка агроландшафтов свидетельствует, что произошло заметное улучшение их комплексного экологического состояния в эрозионно-денудационных ландшафтах, предопольях и предполесьях. Несколько ухудшилось оно в моренных ландшафтах. В опольях, полесьях, речных долинах этот показатель изменился незначительно.

13. Агроландшафты после Чернобыльской аварии с учётом цезиевого загрязнения, объединились по признакам, обусловленным проведением системы реабилитационных мероприятий, в следующие 3 группы: I – эрозионно-денудационные ландшафты и ополья; II – предополья, предполесья и ландшафты речных долин; III - полесья и моренные ландшафты. Способность агроландшафтов к самовосстановлению экологического состояния не изменила их группировку вследствие загрязнения ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС.

14. Агроландшафты после чернобыльской аварии с учётом стронциевого загрязнения объединились по признакам, обусловленным проведением системы

реабилитационных мероприятий, в следующие 3 группы: I – эрозионно-денудационные ландшафты и ополья; II – предополья, предполесья и ландшафты речных долин; III - полесья и моренные ландшафты. Эта группировка не изменилась по сравнению с доаварийным периодом.

15. Устойчивость агроландшафтов к антропогенному воздействию после аварии на ЧАЭС неодинакова. Самая низкая устойчивость - у предполесий (3,5), наиболее высокая – в полесьях (0,4). Остальные агроландшафты характеризуются следующими уровнями устойчивости: эрозионно-денудационные – 0,9, ополья – 0,6, предополья – 0,7, моренные – 0,6, речные долины – 0,9.

16. Агроландшафты по устойчивости к цезиевому загрязнению объединяются в следующие группы: I – эрозионно-денудационные ландшафты и речные долины; II – опольские, моренные, предопольские и предполесские ландшафты; III – предполесья. По мере удаления от момента аварии и стабилизации радиоэкологической ситуации агроландшафты стремятся восстановить своё экологическое состояние.