

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РАНЖИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ АГРОХИМИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ^{137}Cs ПАШНЕ

Л.А. Зверева, к.э.н., Е.В. Просянников, д.с.-х.н.

Брянский государственный аграрный университет, e-mail: L.Zvereva@yandex.ru

По материалам стационарных полевых опытов проведена комплексная оценка экономической эффективности и ранжирование защитных агрохимических мероприятий на загрязненной ^{137}Cs пашне. Оценку проводили по следующим критериям: предотвращенный экономико-радиологический ущерб; чистый дисконтированный доход; индекс доходности; дисконтированные суммарные затраты; стоимость единицы предотвращенной дозы облучения. Установлено, что на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава, загрязненных ^{137}Cs от 870,7 до 2516,4 кБк/м², при ограниченных финансовых средствах и объемах мелиорантов (известь, фосфоритная и доломитовая мука), целесообразны следующие защитные агрохимические мероприятия: в 5-польном севообороте на песчаной почве, загрязненной 870,7 кБк/м² – внесение извести в дозе 2,1 т/га + NPK; в 5-польном севообороте на супесчаной почве, загрязненной 2516,4 кБк/м² – внесение фосфоритной муки 0,288 кг/га + NPK; в 7-польном севообороте на легкосуглинистой почве, загрязненной 900,6 кБк/м² – внесение полуторных доз фосфорно-калийного минерального удобрения в сочетании с одной дозой азотного минерального удобрения (NP_{1,5}K_{1,5}); в 6-польном севообороте на легкосуглинистой почве, загрязненной 1223,7 кБк/м² – внесение доломитовой муки 3 т/га + навоз 120 т/га + K₆₀₀ (КАХОП).

Ключевые слова: пашня, радиоактивное загрязнение, ^{137}Cs , агрохимические мероприятия, предотвращенный ущерб, экономическая эффективность, ранжирование, Брянская область.

ECONOMIC EFFICIENCY AND RANKING OF THE PROTECTIVE AGROCHEMICAL MEASURES AT CONTAMINATED BY ^{137}CS ARABLE LAND

Ph.D. L.A. Zvereva, Dr.Sci. E.V. Prosyannikov

Bryansk State Agrarian University, e-mail: L.Zvereva@yandex.ru

Based on the materials of stationary field experiments, a comprehensive assessment of the economic efficiency and ranking of protective agrochemical measures on ^{137}Cs contaminated arable land was carried out. The assessment was carried out according to the following criteria: prevented economic and radiological damage; net discounted income; yield index; adjusted total costs; cost per unit of prevented radiation dose. Found that on soddy-podzolic soils of light granulometric composition contaminated with ^{137}Cs from 870,7 to 2516,4 kBq/m², with limited financial environments-benefits and the amounts of ameliorants (lime, rock phosphate and dolomite powder), suitable agrochemical the following protective measures: in 5-field crop rotation on the sandy soil contaminated 870,7 kBq/m² – application of lime at a dose of 2.1 t/ha + NPK; in 5-field crop rotation on the sandy loam soil contaminated 2516,4 kBq/m² the introduction of phosphate in 0.288 kg/ha + NPK; in 7-field crop rotation on light loamy soil, contaminated 900,6 kBq/m² the introduction of single doses of phosphorus-potassium fertilizers in combination with one dose of nitrogen mineral fertilizers (NP_{1.5}K_{1.5}); in 6-field crop rotation on light loamy soil, contaminated 1223,7 kBq/m² – introduction of dolomite 3 t/ha + manure 120 t/ha + K600.

Keywords: arable land, radioactive pollution, ^{137}Cs , agrochemical measures, prevented damage, economic efficiency, ranking, the Bryansk region.

В Брянской области, наиболее загрязненной в России ^{137}Cs после аварии на Чернобыльской АЭС, для снижения нормативно-чистой продукции растениеводства разработаны комплексы реабилитационных мероприятий на пашне. Их применение позволило снизить переход радионуклида из почвы в растения до уровня санитарных норм [1-5]. Однако результаты радиационного контроля, проводимого ФГБУ «Брянскагрохимрадиология», свидетельствуют, что в

хозяйствах юго-западных районов в 2017-2018 гг. до 15% растениеводческой продукции превышало нормативные показатели, а значит дальнейшее продолжение защитных агрохимических мероприятий актуально [4].

Цель исследований – экономическая оценка защитных мероприятий, обеспечивающих эффективное распределение денежных средств, затрачиваемых на радиационную защиту.

Методика. Оценку экономической эффективности защитных мероприятий проводили по результатам агрохимических стационарных опытов ФГБУ «Брянскагрохимрадиология».

Для оценки защитного мероприятия Международная комиссия по радиологической защите рекомендует использовать «Анализ затрат и результатов», согласно которому оптимальным защитным мероприятием будет то, результат которого превышает затраты. Для окончательного принятия решения на применение защитного мероприятия, наиболее предпочтительного из нескольких равных, предложено руководствоваться также показателем, определяющим эффективность необходимых затрат. Таким критерием служит стоимость единицы предотвращенной относительной дозы облучения, если вмененные издержки выше контрольной денежной стоимости человека-живерта, то вариант не может рассматриваться как оптимальный [6].

При выборе критериев для оценки исследуемых агрохимических защитных мероприятий важно учитывать то, что эффект от их применения проявляется не сразу, а в течение ротации севооборота и далее, что позволяет затраты на защитные мероприятия отнести к долгосрочным инвестициям (капитальным вложениям). В этом случае для экономической оценки эффективности защитных мероприятий можно применить методы оценки эффективности инвестиций в природоохранные мероприятия по следующим критериям: 1) чистый дисконтированный доход, долл/га; 2) индекс доходности; 3) дисконтированные суммарные затраты, долл/га [7, 8].

Чистый дисконтированный доход представляет собой разность между экономическим результатом и инвестициями в защитные мероприятия, а экономический результат – сумму предотвращенного радиологического ущерба и дополнительного дохода, полученного от применения защитного мероприятия.

Предотвращенный ущерб считают экономическим эквивалентом радиологических преимуществ рассматриваемых мероприятий [8]. Его величина зависит от показателей величины радиологического эффекта (кратность снижения содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции до и после

применения мероприятий), а в конечном счете от стоимости снижения коллективной дозы облучения, в результате применения защитного мероприятия.

Расчет стоимости предотвращенной коллективной дозы облучения основывается на использовании базового значения денежной стоимости человека-живерта (стоимостного эквивалента потерянных человеком лет жизни от облучения), принимаемый по рекомендациям МАГАТЭ в размере 20 тыс. долл. США/чел. Зв [6].

Индекс доходности служит универсальным экономическим критерием, показывающим, как результаты соотносятся с затратами.

Результаты. При анализе полученных расчетным способом показателей эффективности исследуемых защитных мероприятий установлено [7], что на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава с плотностью загрязнения 871-2516 кБк/м² или 23-68 Ки/км² некоторые из исследуемых защитных мероприятий не снижают экономико-радиологический ущерб идентичный стоимости предотвращенной дозы облучения в связи с небольшой кратностью снижения радиоцезия в растениеводческой продукции. В 5-польном севообороте на дерново-подзолистой песчаной почве из восьми вариантов лишь внесение извести 2,1 т/га + NPK снижало суммарную предотвращенную дозу облучения (табл. 1).

Варианты защитных мероприятий, неэффективные по радиологическому критерию (предотвращенная доза облучения, чел. мЗв/га), экономической оценке не подвергали. Установлено, что в 5-польном севообороте внесение в дерново-подзолистую песчаную почву, содержащую ¹³⁷Cs 870,7 кБк/м², извести 2,1 т/га + NPK оправдано по экономическому критерию (индекс доходности 1,68 > 1), но неэффективно по экономико-радиологическому критерию (стоимости единицы предотвращенной дозы облучения), который больше нормы 20 тыс. долл. США/чел. Зв (табл. 2).

Результаты оценки по экономическим и экономико-радиологическим критериям агрохимических защитных мероприятий на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, имеющих поло-

1. Суммарная предотвращенная доза облучения в 5-польном севообороте на дерново-подзолистой песчаной почве, содержащей ¹³⁷Cs 870,7 кБк/м²

Агрохимические защитные мероприятия	Предотвращенная доза облучения, чел. мЗв/га
Известь, 2,1 т/га + NPK	0,517
Навоз, 70 т/га + NPK	-0,395
Фосфоритная мука, 280 кг/га + NPK	-0,098
Цеолит, 5 т/га + NPK	-0,746
Навоз, 70 т/га + цеолит, 5 т/га + NPK	-0,556
Цеолит, 5 т/га + известь, 2,1 т/га + NPK	-0,221
Цеолит, 10 т/га + NPK	-0,330
Цеолит, 5 т/га + фосфоритная мука, 280 кг/га + NPK	-0,426
Примечание. Дозы NPK устанавливаются в зависимости от выращиваемых культур.	

2. Экономическая эффективность внесения извести 2,1 т/га + NPK на дерново-подзолистой песчаной почве, содержащей ¹³⁷Cs 870,7 кБк/м²

Сельскохозяйственные культуры	Предотвращенная доза (ΔS), чел. мЗв/га	Предотвращенный ущерб (ΔУ), долл/га	Дополнительная продукция, ц/га (+/-)	Дополнительный доход (ΔД), долл/га	Экономический результат (Р), долл/га	Коэффициент дисконтирования [®]	Дисконтированный экономический результат (Р), долл/га	Чистый дисконтированный доход (ЧДД), долл/га	Приведенные затраты, (К ₁₀), долл/га	Индекс доходности (ИД)	Стоимость единицы предотвращенной дозы облучения (ε), тыс. долл/чел.-Зв
Ячмень	0,159	3,17	+2,7	13,5	16,67	0,93	15,5	11,7	3,8	4,08	23,90
Клевер	-0,005	-0,10	+2,7	8,6	8,50	0,86	7,3	3,5	3,8	1,92	-
Кукуруза	-0,008	-0,17	+9,0	3,6	3,43	0,79	2,7	-1,1	3,8	0,71	-
Озимая рожь	0,133	2,67	+0,7	3,5	6,17	0,73	4,5	0,7	3,8	1,18	28,57
Овес	0,238	4,77	-0,4	-2,0	2,77	0,68	1,9	-1,9	3,8	0,50	15,97
Итого	0,517	10,33		27,2	37,53		31,9	12,9	19,0	1,68	36,75

3. Экономико-радиологические показатели агрохимических защитных мероприятий

Мероприятие	Предотвращенный экономико-радиологический ущерб, долл/га	Чистый дисконтированный доход, долл/га	Индекс доходности	Стоимость единицы предотвращенной относительной дозы облучения, тыс. долл/чел.-Зв	Дисконтированные суммарные затраты, долл/га
5-польный севооборот на супесчаной почве, содержащей ¹³⁷ Cs 2516,4 кБк/м ²					
Фосфоритная мука, 288 кг/га + NPK	1,77	107,33	7,97	171,10	15,40
Навоз, 110 т/га + NPK	1,63	207,86	2,12	2241,40	186,00
Цеолит, 5 т/га + известь, 5 т/га + NPK	13,83	-1367,70	-	1974,00	1364,00
7-польный севооборот на легкосуглинистой почве, содержащей ¹³⁷ Cs 900,6 кБк/м ²					
NP _{1,5} K _{1,5}	21,70	207,13	1,86	222,30	241,20
NP ₂ K ₂	24,53	217,97	1,76	232,97	285,87
NPK	15,27	137,83	1,71	254,27	194,00
Доломитовая мука, 3 т/га + NPK	26,57	159,33	1,67	179,90	239,27
Навоз, 120 т/га + NPK	22,90	222,53	1,56	345,77	395,90
Торф, 120 т/га + NPK	27,70	-208,03	-	545,00	755,90
Цеолит, 5 т/га + NPK	17,80	-1121,70	-	1730,40	1540,10
6-польный севооборот на легкосуглинистой почве, содержащей ¹³⁷ Cs 1223,7 кБк/м ²					
Доломитовая мука, 3 т/га + навоз, 120 т/га + K ₆₀₀ (КАХОП)	38,10	256,10	1,99	135,97	258,90
Доломитовая мука, 3 т/га + навоз, 120 т/га + NPK	23,60	104,47	1,26	340,23	401,83
КАХОП + NPK	33,50	30,93	1,07	253,77	425,07

ительную предотвращенную дозу облучения, представлены в таблице 3. Все рассматриваемые агрохимические защитные мероприятия не эффективны по экономико-радиологическому критерию (стоимость единицы предотвращенной относительной дозы облучения), который превышает нормативный (20 тыс. долл/чел. Зв) в 1,8-112 раз, а вариант – цеолит в 700 раз. Однако эти мероприятия могут быть признаны эффективными в экономически развитых странах. Например, за нормативный показатель денежной стоимости человеко-живерта в тысяче долларов США еще в 1995 г. были приняты следующие

величины: Финляндия – 100; США – 200; Румыния – 220; Нидерланды – 500; Швейцария – 3000 [6].

Результаты медико-географических исследований свидетельствуют о возникновении на загрязненной радионуклидами территории условий хронического облучения живых организмов в малых дозах. Такое облучение приводит к увеличению частоты хромосомных нарушений в кариоцитах костного мозга и может отразиться на здоровье будущих поколений [9]. Этот факт желательно учитывать при принятии решений о применении агрохимических мероприятий по радиационной защите.

4. Ранжирование защитных агрохимических мероприятий

Занимаемое место	Мероприятие	Индекс доходности	Мероприятие	Стоимость единицы предотвращенной дозы облучения, тыс. долл./чел.-Зв
5-польный севооборот на песчаной почве, содержащей ¹³⁷ Cs 870,7 кБк/м				
1	Известь, 2,1 т/га + NPK	1,68	Известь, 2,1 т/га + NPK	36,8
5-польный севооборот на супесчаной почве, содержащей ¹³⁷ Cs 2516,4 кБк/м				
1	Фосфоритная мука, 288 кг/га + NPK	7,97	Фосфоритная мука, 288 кг/га + NPK	171,1
2	Навоз, 110 т/га + NPK	2,12	Навоз, 110 т/га + NPK	2241,4
7-польный севооборот на легкосуглинистой почве, содержащей ¹³⁷ Cs 900,6 кБк/м ²				
1	NP _{1,5} K _{1,5}	1,86	Доломитовая мука, 3 т/га + NPK	179,9
2	NP ₂ K ₂	1,76	NP _{1,5} K _{1,5}	222,3
3	NPK	1,71	NP ₂ K ₂	233,0
4	Доломитовая мука, 3 т/га + NPK	1,67	NPK	254,3
5	Навоз, 120 т/га + NPK	1,56	Навоз, 120 т/га + NPK	345,8
6-польный севооборот на легкосуглинистой почве, содержащей ¹³⁷ Cs 1223,7 кБк/м ²				
1	Доломитовая мука, 3 т/га + навоз, 120 т/га + K ₆₀₀ (КАХОП)	1,99	Доломитовая мука, 3 т/га + навоз, 120 т/га + K ₆₀₀ (КАХОП)	136,0
2	Доломитовая мука, 3 т/га + навоз, 120 т/га + NPK	1,26	КАХОП + NPK	253,8
3	КАХОП + NPK	1,07	Доломитовая мука, 3 т/га + навоз, 120 т/га + NPK	340,2

Для определения наиболее предпочтительного агрохимического защитного мероприятия их ранжировали по двум основным критериям: индексу доходности и стоимости единицы предотвращенной дозы облучения (табл. 4).

Таким образом, на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава, загрязненных ¹³⁷Cs от 870,7 до 2516,4 кБк/м², при ограниченных финансовых средствах и объемах мелиорантов (известь, фосфоритная и доломитовая мука), целесообразны следующие защитные агрохимические мероприятия:

- в 5-польном севообороте на песчаной почве, загрязненной 870,7 кБк/м² – известь, 2,1 т/га + NPK;
- в 5-польном севообороте на супесчаной почве, загрязненной 2516,4 кБк/м² – фосфоритная мука, 0,288 кг/га + NPK;
- в 7-польном севообороте на легкосуглинистой почве, загрязненной 900,6 кБк/м² – полуторная доза фосфорно-калийного удобрения в сочетании с одной дозой азотного удобрения (NP_{1,5}K_{1,5});
- в 6-польном севообороте на легкосуглинистой почве, загрязненной 1223,7 кБк/м² – доломитовая мука, 3 т/га + навоз, 120 т/га + K₆₀₀ (КАХОП).

Литература

1. Маркина З.Н. Радиоэкологическое состояние агроландшафтов юго-запада России и их реабилитация: дисс. д.с.-х.н., 06.01.15; 03.00.27. – Брянск, 1999. – 276 с.
2. Воробьев Г.Т., Маркина З.Н., Просяников Е.В. Почвенная адаптивно-ландшафтная концепция преодоления последствий радиоактивных загрязнений / Система биологизации земледелия Нечерноземной зоны России. Т. 1. – М. ФГНУ «Росинформагротех», 2002. – С. 382-410.
3. Сычев В.Г., Лунев В.И., Орлов П.М., Белоус Н.М. Чернобыль: радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв (к 30-летию техногенной аварии на Чернобыльской АЭС). – М.: ВНИИА, 2016. – 184 с.
4. Панов А.В., Гордиенко Е.В., Прудников П.В. Оценка и прогноз уровней загрязнения ¹³⁷Cs сельскохозяйственных угодий юго-западных районов Брянской области, подвергшихся воздействию от аварии на Чернобыльской АЭС // Агрохимический вестник, 2016, № 5. – С. 9-14.
5. Белоус Н.М. Развитие радиоактивно загрязненных территорий Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник Брянской сельскохозяйственной академии, 2018, № 1(65). – С. 3-11.
6. Серия докладов по безопасности, № 21. Оптимизация радиационной защиты при контроле облучения персонала – Вена: МАГАТЭ, 2003. – 82 с.
7. Зверева Л.А. Обоснование экономической эффективности реабилитационных мероприятий в растениеводстве на радиоактивно загрязненных землях (на материалах Брянской области): дисс. к.э.н., 08.00.05. – М., 2005. – 179 с.
8. Сотникова Н.А. Эффективность реабилитационных мероприятий на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных территориях в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС: дисс. к.б.н., 03.01.01. Обнинск, 2016. – 171 с.
9. Ершов А.В. Эколого-гигиенические оценки и экспериментальное исследование хронического воздействия малых доз ионизирующего излучения: дисс. к.б.н., 03.00.29. – Калуга, 2000. – 183 с.