

УДК 504.61:351.78:614.8

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕПЕЛА В КАЧЕСТВЕ ИЗВЕСТКОВОГО МЕЛИОРАНТА НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ЗЕМЛЯХ

**О. А. Мерзлова<sup>1</sup>**, научный сотрудник  
**Т. Н. Агеева<sup>2</sup>**, кандидат ветеринарных наук

<sup>1</sup>ГНУ «НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь», г. Могилев, Беларусь

<sup>2</sup>МОУ ВО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь

### Аннотация

В условиях радиоактивного загрязнения, наряду с созданием оптимальных условий получения стабильных урожаев известкование направлено на снижение доступности растениям радионуклидов <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs из почвы. Изучение свойств трепела месторождения «Стальное» Хотимского р-на Могилевской обл. как мелиоранта в полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях радиоактивного загрязнения показало, что эффект по снижению перехода радионуклидов в продукцию в сравнении с доломитовой мукой сопоставим или превосходит его. Полученные прибавки урожая зерна пшеницы яровой и овса превышают аналогичные с использованием доломитовой муки: в звене севооборота пшеница – овес – люпин в варианте с полной дозой трепела – на 31,5 %, с половинной дозой – на 6,5 %. Оценка экономической эффективности использования доломитовой муки и трепела неоднозначна, поскольку трепел представлен на рынке как кормовая добавка. В этой связи рассчитаны предельная величина затрат на погашение кислотности на 1 га загрязненных радионуклидами слабокислых почвах с использованием трепела в дозе эквивалентной 6 т/га CaCO<sub>3</sub> (840,31 руб./га) и предельная отпускная цена на него (13,32 руб./т), позволяющая обеспечить 5%-ю эффективность затрат на агрохимизацию в условиях полевого опыта.

**Ключевые слова:** <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, коэффициент перехода, мелиорант, трепел, урожайность, экономическая эффективность, предельные затраты на известкование, предельная отпускная цена.

### Abstract

**V. A. Miarzlova, T. N. Aheyeva**

### ECONOMIC EFFICIENCY OF TREPEL FOR LIMING RADIONUCLIDE-CONTAMINATED LAND

In conditions of radioactive contamination, along with creating optimal conditions for obtaining stable yields, liming aimed at reducing the availability of <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs radionuclides from the soil to plants.

The study of the properties of the diatomite earth deposits of Stalnoye (Khotimsk district, Mogilev region) in the field experience on sod-podzolic light loamy soil under conditions of radioactive contamination showed that the effect on reducing the transfer of radionuclides to products in comparison with dolomite flour is comparable or exceeds it. The resulting increases in the yield of spring wheat and oats are superior to those with the use of dolomite flour. In the link of crop rotation, wheat-oats-lupine in the variant with a full dose of trepel – by 31.5 %, with a half dose – by 6.5%. Evaluation of the economic efficiency of using dolomite flour and trepel is ambiguous, since trepel is presented on the market as a feed additive. In this regard, the maximum value of the cost of repayment of acidity on 1 ha of slightly acidic soils contaminated with radionuclides using trepel at a dose equivalent to 6 t/ha of CaCO<sub>3</sub> (840.31 rubles/ha) and the maximum selling price for it (13.32 rubles/t), which allows to ensure 5 % efficiency of costs for agrochemization in the conditions of field experience.

**Keywords:** <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, transition coefficient, meliorant, diatomite, economic efficiency, limiting the cost of liming, marginal selling price.

### Введение

Известкование кислых почв сельскохозяйственных земель, загрязненных радионуклидами, проводится с целью оптимизации по-

казателей реакции почвенной среды (рН<sub>кд</sub>), при которых наблюдается максимальное снижение поступления радионуклидов в расте-

ниеводческую продукцию. Оптимизация степени кислотности почв на фоне применения минеральных удобрений позволяет повысить урожайность и сократить поступление радионуклидов в сельскохозяйственные культуры на 60–80 % [1].

Для Беларуси по-прежнему актуален поиск эффективных, дешевых, экономически и технологически целесообразных сорбентов на основе как органического, так и минерального сырья с целью снижения загрязнения радионуклидами растениеводческой продукции и повышения плодородия почвы. Важное условие их использования – экологическая безопасность. При выборе такого рода сорбентов перспективным может стать применение минералов группы цеолитов.

Цеолиты считаются универсальными минералами, заслуживающими особого внимания. По своей кристаллической структуре они состоят из алюмокремнекислородного каркаса, содержащего пустоты и каналы, где расположены катионы щелочных и щелочноземельных металлов и молекулы воды. Катионы и вода, связанные с каркасом, могут быть частично или полностью замещены или удалены путем ионного обмена и дегидратации. При таком свойстве цеолиты обладают высокой обменной емкостью катионов, что представляет собой исключительную ценность для длительного питания растений.

Другое важное химическое свойство цеолитов, лежащее в основе их применения в народном хозяйстве, – их селективность в отношении к катионам. Обмен одновалентных катионов протекает с резко выраженной избирательностью к крупным катионам  $Cs^+$ ,  $Rb^+$  и

$K^+$ , наблюдается постоянная избирательность к  $Na^+$ . На цеолите осаждаются ионы тяжелых металлов. Обмен ионов щелочноземельных элементов протекает с высокой избирательностью к  $Sr^{2+}$ , который можно извлекать из растворов с низкой концентрацией. Особого внимания заслуживает способность цеолитов понижать кислотность почвы [2].

В последние годы отмечается интерес к изучению трепела, который на 15–50 % (в зависимости от месторождения) состоит из цеолита и обладает свойствами этого минерала. Ранее широкого распространения этот минерал не получил по причине своего полимерного состава. Большинство сорбентов разрабатываемых месторождений представлены на 70–85 % одним минералом и имеют небольшой процент примесей, что важно для промышленного использования. В Республике Беларусь имеются два месторождения трепела – «Дружба» и «Стальное», доступных для открытой разработки. Ранее их разработка и применение не считались экономически целесообразными, поскольку на территории СССР, в состав которого входила Беларусь до 1991 г., были разведаны и разрабатывались более богатые месторождения. Однако в сравнении с прочими минералами трепел месторождения «Стальное» содержит повышенное количество оксидов кальция и магния, поэтому относится к классу известковых. В пересчете на  $CaCO_3 + MgCO_3$  действующее вещество составляет до 37 %. С учетом имеющегося мирового опыта и проводимых контрмер трепел может быть одним из наиболее перспективных сорбентов радионуклидов в практике сельского хозяйства на загрязненных радионуклидами землях.

### Объекты и методы исследований

В связи с вышеуказанным изучены влияние трепела на переход радионуклидов в сельскохозяйственные культуры, их урожайность, агрохимические свойства почвы; дана оценка экономической эффективности применения трепела в растениеводстве.

Объекты исследований – растения овса (сорт Першачвет), яровой пшеницы (сорт Сабина), люпина узколистного (сорт Лидия). Выбор люпина узколистного из ряда зернобобовых культур связан с его наибольшей радиофильностью. Исследования проведены в условиях полевого

эксперимента, заложенного на территории СПК «Дуброва» Костюковичского р-на Могилевской обл. (в рамках тематик Могилевского филиала РНИУП «Институт радиологии»).

Исходные агрохимические и радиологические характеристики агродерново-подзолистой легкосуглинистой почвы опытного участка: пахотный слой – 22–25 см, содержание гумуса – 1,85 %, обменная кислотность  $pH_{KCl} = 5,85$ , содержание подвижных форм фосфора – 142 мг/кг почвы, подвижных форм калия – 226 мг/кг почвы, средняя плотность загряз-

нения почв  $^{137}\text{Cs}$  – 660,8 кБк/м<sup>2</sup> (17,8 Ки/км<sup>2</sup>),  $^{90}\text{Sr}$  – 7,03 кБк/м<sup>2</sup> (0,19 Ки/км<sup>2</sup>).

Химический состав использованного трепела месторождения «Стальное»: СаО (207 г/кг), К<sub>2</sub>О (48 г/кг), Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> (2,8 мг/кг), MgО (7000 мг/кг). В пересчете на действующее вещество доля оксидов кальция и магния составляет 21 %. Содержание остальных химических элементов не определялось: как правило, они находятся в количествах, не превышающих 2,0 %.

Схема полевого опыта предусматривала внесение следующих мелиорантов: СаСО<sub>3</sub> в дозе 6 т/га, рекомендованной для известкования почв пахотных земель, загрязненных радионуклидами, в диапазоне рН 5,76–6,00 [3], трепела в дозе, эквивалентной указанной, с учетом удельного веса действующего вещества и для сравнения – половинной дозы трепела:

- 1) контроль (без мелиорантов и удобрений);
- 2) NPK + доломитовая мука (полная доза – 6000 кг/га);
- 3) NPK + трепел 1 (полная доза – 16 216 кг/га);
- 4) NPK + трепел 0,5 (половинная доза – 8108 кг/га).

Внесение минеральных удобрений в виде карбамида, аммонизированного суперфосфата (марка 8-30), хлористого калия осуществлено исходя из рекомендованных для внесения доз на почвах с указанными выше агрохимическими и радиологическими характеристиками: под овес и яровую пшеницу – N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>, под люпин узколистный – P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> [1].

Размер делянок 1 x 4 = 4 м<sup>2</sup>. Учетная площадь делянки 4 м<sup>2</sup>. Защитные полосы по 0,5 м. Повторность опыта трехкратная. Принцип размещения делянок – полная рандомизация.

Оценка сравнительной экономической эффективности осуществлялась на основе соотношения стоимостной оценки прибавки урожая, полученной на вариантах опыта с использованием мелиорантов и минеральных удобрений, и дополнительных затрат на его получение в сравнении с контролем.

Разделение эффектов от применения минеральных удобрений и известковых мелиорантов не предусматривалось, поскольку их действие имеет синергетический характер и на фоне ежегодного проведения защитных мер на опытном участке, выделенном в хозяйственном массиве, трудноуловим.

Данное допущение согласуется с результатами, полученными другими авторами при

изучении способности трепела влиять на биологическую доступность радионуклидов в почве. Так, эксперименты РНИУП «Институт радиологии», проведенные на торфяно-болотных почвах в 2000–2002 гг., установили, что трепел месторождения «Стальное» в комплексе с минеральными и органическими удобрениями является эффективным средством стимуляции развития растений, повышения урожайности сельскохозяйственных культур и снижения накопления ими радионуклидов [4]. В 2009–2010 гг. в сопоставимых с представленным нами полевым опытом условиях (плотность загрязнения пахотного слоя почвы  $^{137}\text{Cs}$  – 537 кБк/м<sup>2</sup> (14,5 Ки/км<sup>2</sup>); содержание гумуса – 1,96 %; рН = 5,60) при выращивании многолетних злаковых трав на дерново-подзолистой супесчаной почве также выявлено: снижение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в растениях на 11 % при внесении трепела в дозе 15 т/га без минеральных удобрений, на 37 % – при внесении такой же дозы совместно с минеральными удобрениями в количестве N<sub>60</sub>P<sub>40</sub>K<sub>80</sub>. На торфяно-болотной почве при внесении только трепела названного месторождения в дозе 15 т/га снижение удельной активности и коэффициента перехода составило 62 % относительно контроля, внесение совместно с N<sub>60</sub>P<sub>40</sub>K<sub>80</sub> привело к снижению показателей до 64 % в сравнении с контролем [5]. Многолетние опыты, проведенные Центром химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский», зафиксировали снижение накопления  $^{137}\text{Cs}$  от 1,2 до 3,4 раз в зависимости от культур и дозы внесения трепела месторождения «Хотынецкое» на фоне NPK [6]. Следует отметить, что изученность сорбционных и мелиоративных свойств трепела носит единичный характер, тем самым подтверждается необходимость восполнения сформировавшегося пробела.

Прибавка урожая оценена на основании закупочных цен на растениеводческую продукцию урожая 2020 г., рекомендованных Министерством сельского хозяйства и продовольствия, с учетом налога на добавленную стоимость и рыночной цены реализации зерна люпина.

Расходы на внесение удобрений, известкование, уборку, перевозку и доработку урожая рассчитаны на 1 гектар с учетом статей затрат: материалы, ГСМ, оплата труда, общехозяйственные расходы, НДС в ценах 2020 г. Расходы на известкование включены в ежегодные дополни-

тельные затраты на получение прибавки урожая исходя из четырехлетнего цикла.

Известкование – прием продолжительного действия, поэтому наиболее объективно его эффективность отражает оценка в севообороте. В нашем случае эксперимент проводился в течение 3 лет, поэтому дополнительный доход определен на основе суммарной стоимости прибавок урожая культур за трехгодичную ротацию

### Результаты исследований и их обсуждение

Объем защитных мероприятий на загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных землях, проведенный за период после Чернобыльской аварии, позволил существенно улучшить их агрохимические характеристики, что отразилось на выборе опытного участка. В целом можно сказать, что даже в почвенных условиях, классифицируемых по кислотности как близкие к нейтральным, выявлено положительное влияние трепела на снижение перехода радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$

звена севооборота, дополнительные затраты – как суммарные расходы за 3 года. При этом приведены и результаты оценки эффективности известкования в звене севооборота овес – яровая пшеница, поскольку полная нейтрализация кислотности почв для возделывания люпина не требуется и ведет к снижению урожайности культуры и впоследствии сокращению экономической эффективности применения мелиорантов.

в зерно исследуемых культур. Полученный эффект сопоставим с использованием доломитовой муки или превосходит его.

Так, внесение трепела в дозе, рассчитанной для нейтрализации избыточной кислотности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  10–15 Ки/км<sup>2</sup> (370–555 кБк/м<sup>2</sup>), снизило поступление данного радионуклида в зерно пшеницы яровой на 25 %, люпина узколистного на 13,6 %, зерно овса посевного на 5,6 % (табл. 1).

Таблица 1. Удельная активность (УА, Бк/кг) зерна и коэффициенты перехода (Кп, Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup>)  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в продукцию при применении различных мелиорантов (в среднем за три года)

Варианты удобрений	$^{137}\text{Cs}$						$^{90}\text{Sr}$					
	пшеница яровая		овес		люпин узколистный		пшеница яровая		овес		люпин узколистный	
	УА	Кп	УА	Кп	УА	Кп	УА	Кп	УА	Кп	УА	Кп
Контроль	8,4	0,012	9,9	0,019	217,6	0,559	6,3	1,38	6,3	1,28	27,5	6,49
НРК + доломит. мука	5,3	0,012	8,4	0,018	209,2	0,502	5,4	1,19	6,1	1,27	28,2	6,11
НРК + трепел 1,0 дозы	4,5	0,009	8,1	0,017	200,9	0,483	5,4	1,01	6,3	1,19	22,1	5,22
НРК + трепел 0,5 дозы	4,2	0,010	9,0	0,018	206,7	0,543	5,6	1,21	6,0	1,23	25,3	6,21

Примечание. Определено при влажности зерна 14 %.

В сравнении со стандартным вариантом (внесение доломитовой муки) применение трепела имело преимущество при возделывании пшеницы и не уступало доломитовой муке по действию на переход  $^{137}\text{Cs}$  в зерно овса и люпина узколистного [7].

Внесение трепела в полной дозе на фоне минеральных удобрений достоверно снизило интенсивность миграции  $^{90}\text{Sr}$  по всем культурам как по сравнению с контролем (в среднем по культурам на 18 %), так и с внесением

доломитовой муки (на 12 %). Использование цеолитсодержащего мелиоранта в половинной дозе оказалось менее эффективным как в отношении поступления  $^{137}\text{Cs}$ , так и  $^{90}\text{Sr}$ .

Одной из важных задач агрохимизации является увеличение продуктивности культур. Полная нейтрализация кислотности в совокупности с применением повышенных доз удобрений обеспечила рост урожайности яровой пшеницы и овса (табл. 2).



Таблица 2. Сравнительный анализ экономической эффективности применения доломитовой муки и «дорогого» трепела для известкования почв в условиях радиоактивного загрязнения земель на фоне применения удобрений (вариант 1)

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Эффективность дополнительных затрат ( $\Delta \mathcal{E}_1$ )							Эффективность $\Delta \mathcal{E}_1$ , %
			Стоимость прибавки урожая, руб./га	Дополнительные затраты ( $\Delta \mathcal{Z}_1$ ), руб./га в год					Дополнительный доход, руб./га	
				известкование	внесение удобрений	уборка, перевозка, доработка прибавки	всего			
У	$\Delta \mathcal{U}$	$\Delta \mathcal{C}$	$\mathcal{Z}_{изв1}$	$\mathcal{Z}_{уд}$	$\Delta \mathcal{Z}_{убор}$	$\Delta \mathcal{Z}_1$	$\Delta \mathcal{D}_1$	$\Delta \mathcal{E}_1$		
<i>Яровая пшеница</i>										
Контроль	12,9	–	–	–	–	–	–	–	–	
НПК + дол. мука	28,5	15,6	675,3	139,0	339,4	36,3	514,7	160,6	31,2	
НПК + трепел 1	29,3	16,4	709,6	721,7	339,4	38,1	1099,2	–389,6	–35,4	
НПК + трепел 0,5	29,3	16,4	708,2	364,8	339,4	38,1	742,2	–34,0	–4,6	
НСР <sub>05</sub> = 6,1; $F_{факт}$ = 8,45; $F_{05}$ = 3,48										
<i>Овес</i>										
Контроль	19,4	–	–	–	–	–	–	–	–	
НПК + дол. мука	34,9	15,5	445,8	139,0	339,4	36,0	514,4	–68,6	–13,3	
НПК + трепел 1	37,8	18,4	529,3	721,7	339,4	42,8	1103,9	–574,6	–52,1	
НПК + трепел 0,5	36,6	17,2	494,7	364,8	339,4	40,0	744,2	–249,4	–33,5	
НСР <sub>05</sub> = 9,6; $F_{факт}$ = 16,8; $F_{05}$ = 3,48										
<i>Люпин</i>										
Контроль	12,8	–	–	–	–	–	–	–	–	
НПК + дол. мука	14,2	1,4	110,5	139,0	217,5	3,4	359,9	–249,4	–69,3	
НПК + трепел 1	14,4	1,6	126,3	721,7	217,5	3,9	943,0	–816,8	–86,6	
НПК + трепел 0,5	13,7	0,9	71,0	364,8	217,5	2,2	584,4	–513,4	–87,8	
НСР <sub>05</sub> = 1,0; $F_{факт}$ = 4,20; $F_{05}$ = 3,48										
<i>Звено с люпином (стоимостные показатели – суммы за 3 года)</i>										
Контроль	15,0*	–	–	–	–	–	–	–	–	
НПК + дол. мука	25,9*	10,8*	1231,6	417,0	896,3	75,7	1389,0	–157,4	–11,3	
НПК + трепел 1	27,2*	12,1*	1365,1	2165,0	896,3	84,8	3146,1	–1780,9	–56,6	
НПК + трепел 0,5	26,5*	11,5*	1273,9	1094,3	896,3	80,2	2070,8	–796,9	–38,5	
<i>Звено без люпина (стоимостные показатели – суммы за 2 года)</i>										
Контроль	17,7*	–	–	–	–	–	–	–	–	
НПК + дол. мука	25,0*	9,2*	1121,1	278,0	678,8	72,3	1029,1	92,0	8,9	
НПК + трепел 1	26,5*	10,7*	1238,9	1443,3	678,8	80,9	2203,1	–964,2	–43,8	
НПК + трепел 0,5	25,6*	9,9*	1202,9	729,5	678,8	78,1	1486,4	–283,5	–19,1	

П р и м е ч а н и я. 1) Общие затраты на известкование включены в годовые по норме 0,25 с учетом 4 летнего цикла агроприема; 2) значения с звездочкой (\*) приведены в среднем по звену зерновых.

Урожайность яровой пшеницы в среднем за три года исследований в вариантах с использованием мелиорантов выросла в 2,2–2,3 раза. Наиболее высокая прибавка 16,4 ц/га получена

в вариантах с внесением трепела на фоне минеральных удобрений.

Урожайность овса в среднем за три года увеличилась в 1,8–1,9 раза. Максимальную прибав-

ку – 18,4 ц/га – обеспечило внесение цеолитсодержащего мелиоранта в полной дозе на фоне минеральных удобрений.

Достоверного увеличения урожайности зерна люпина узколистного не было зафиксировано. Прирост показателя составил около 1,1 раза по всем вариантам – как с использованием трепела, так и доломитовой муки. Это объясняется излишним погашением кислотности почв. В конце вегетационного периода рН достигло величины 7,0, тогда как для данной культуры оптимален диапазон 5,0–6,0.

Производственная эффективность использования цеолитсодержащего мелиоранта очевидна. Прибавка выхода продукции с 1 га в среднем по культурам в вариантах с применением трепела превосходит прибавки, полученные в вариантах с доломитовой мукой: в звене севооборота пшеница – овес – люпин в варианте с полной дозой трепела – на 31,5 %, с половинной дозой – на 6,5 %; в звене пшеница – овес в варианте с полной дозой трепела – на 16,3 %, с половинной дозой – на 7,6 %.

Однако сравнительная экономическая эффективность не столь очевидна.

Оценка эффективности дополнительных финансовых затрат на применение средств агрохимизации в различных вариантах оказалась неоднозначной по следующим причинам. До-

быча и переработка трепела в месторождении «Стальное» налажены лишь в 2018 г. и имеют незначительные объемы (500–700 тонн в месяц). Главным направлением реализации данного сырья, имеющего богатый минеральный состав и способность раскислять среду рубца крупного рогатого скота, является включение его в рацион.

Цена носит договорной характер и с учетом преимущественного использования трепела как кормовой добавки колеблется в большом диапазоне, но не опускается ниже 152 руб. за тонну. Поэтому в первом варианте оценки экономической эффективности применения трепела расчет осуществлен с учетом упомянутой цены как фактически сложившейся на белорусском рынке. Ее результаты свидетельствуют о существенной убыточности применения такого мелиоранта (табл. 2), что прогнозируемо с учетом не только цены, но и невысокого содержания действующего вещества (21,4 % обменного кальция и магния) против доломитовой муки (98 %). В сравнении с применением доломитовой муки, стоимость которой с учетом транспортировки на склад железнодорожным транспортом, доработки и НДС составляет 63,4 руб./т. [8], полная нейтрализация кислотности на опытном участке с применением трепела обойдется в 5,2 раз дороже (табл. 3).

Таблица 3. Калькуляция стоимости известкования с использованием различных мелиорантов и отпускных цен (2020 г.)

Статьи и элементы затрат	Ед. измер.	Доломитовая мука [8]	Трепел кормовой (дорогой)	Трепел – мелиорант (дешевый)
Отпускная цена	руб./т	33,34	–	15,60
Ж.-д перевозка (для трепела автоперевозка до 100 км)	руб./т	7,33	–	2,34
Стоимость переработки на складе «Агромашсервис»	руб./т	16,00	–	7,49
НДС (20 %)	руб./т	6,67	–	3,12
<b>Итого стоимость мелиоранта («франко-склад»)</b>	руб./т	<b>63,35</b>	<b>152,00</b>	<b>28,55</b>
Объем внесения (по схеме опыта)	тонн/га	6,00	16,22	16,22
Затраты на мелиоранты по полной потребности	руб./га	380,08	2464,83	463,08
Затраты на транспортировку (до поля 25 км)	руб./га	57,01	154,08	154,08
Затраты на внесение всей дозы	руб./га	87,42	236,26	236,26
Затраты на разработку ПСД	руб./га	31,47	31,47	31,47
<b>Общие затраты на известкование 1 га</b>	руб./га	<b>555,98</b>	<b>2886,65</b>	<b>884,75</b>
Включение затрат в себестоимость на 1 год ( $Z_{изв}$ )	руб./га	138,99	721,66	221,19

Таблица 4. Сравнительный анализ экономической эффективности применения доломитовой муки и «дешевого» трепела для известкования почв в условиях радиоактивного загрязнения земель на фоне применения удобрений (вариант 2)

Варианты опыта	Эффективность дополнительных затрат (ΔЭ2)							Общая экономическая эффективность производства (Эп2)		
	ΔЦ, руб./га	ΔЗ2, руб./га в год				ΔД, руб./га	Итого ΔЭ2, %	Стоимость урожая (Ц), руб./га	Общие затраты (З), руб./га	Итого Эп2, %
		З <sub>изв2</sub>	З <sub>уд</sub>	ΔЗ <sub>убор</sub>	Всего ΔЗ2					
<i>Яровая пшеница</i>										
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	559,91	9,8	1,8
НПК + дол. мука	675,3	139,0	339,4	36,3	514,7	160,6	160,6	1235,20	170,4	16,0
НПК + трепел 1	709,6	221,2	339,4	38,1	598,7	110,9	110,9	1266,36	117,5	10,2
НПК + трепел 0,5	708,2	114,5	339,4	38,1	492,0	216,2	216,2	1268,09	226,0	21,7
<i>Овес</i>										
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	558,02	70,9	14,6
НПК + дол. мука	445,8	139,0	339,4	36,0	514,4	–68,6	–13,3	1003,86	2,3	0,2
НПК + трепел 1	529,3	221,2	339,4	42,8	603,4	–74,1	–12,3	1087,28	–3,2	–0,3
НПК + трепел 0,5	494,7	114,5	339,4	40,0	493,9	0,8	0,2	1052,76	71,7	7,3
<i>Люпин</i>										
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	1010,05	277,0	37,8
НПК + дол. мука	110,5	139,0	217,5	3,4	359,9	–249,4	–69,3	1120,53	27,6	2,5
НПК + трепел 1	126,3	221,2	217,5	3,9	442,5	–316,3	–71,5	1136,31	–39,2	–3,3
НПК + трепел 0,5	71,0	114,5	217,5	2,2	334,2	–263,2	–78,7	1081,07	13,9	1,3
<i>Звено с люпином (стоимостные показатели – суммы за 3 года)</i>										
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	2128,0	357,8	20,2
НПК + дол. мука	1231,6	417,0	896,3	75,7	1389,0	–157,4	–11,3	3359,6	200,4	6,3
НПК + трепел 1	1365,1	663,6	896,3	84,8	1644,7	–279,5	–17,0	3489,9	75,1	2,2
НПК + трепел 0,5	1273,9	343,6	896,3	80,2	1320,1	–46,2	–3,5	3401,9	311,6	10,1
<i>Звено без люпина (стоимостные показатели – суммы за 2 года)</i>										
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	1117,9	80,7	7,8
НПК + дол. мука	1121,1	278,0	678,8	72,3	1029,1	92,0	8,9	2239,1	172,7	8,4
НПК + трепел 1	1238,9	442,4	678,8	80,9	1202,1	36,8	3,1	2353,6	114,3	5,1
НПК + трепел 0,5	1202,9	229,1	678,8	78,1	985,9	217,0	22,0	2320,9	297,7	14,7

В то же время технология переработки трепела сопоставима с получением доломитовой муки и при увеличении объемов добываемого сырья и расширении мощностей производства ОДО «Трепел-М» (что зависит от спроса) себестоимость его сократится, причем цеолитсодержащая порода в месторождении «Стальное» выходит на поверхность и позволяет удешевить производство мелиоранта.

Следует сказать, что в мире практикуется отгрузка трепела без переработки из карьера по цене 5–8 долл. США за тонну. Если принять условие, что цеолит, добытый в карьере, будет дорабатываться на мощностях холдинга «Агромашсервис», расположенных в радиусе до 100 км, его цена с учетом затрат поставки на склад («франко-склад») существенно сократится. С учетом доработки она может составить 28,55 руб./т. В этом случае экономическая эффективность применения цеолита существенно возрастает (табл. 4).

Видно, что эффективность дополнительных затрат при внесении «дешевого» трепела в звене пшеница – овес – люпин остается отрицательной (как и с использованием доломитовой муки), а в звене пшеница – люпин возрастает: в варианте с полной дозой до 3,1 %, в половинной дозе – до 22,0 %. Если в первом случае эффективность дополнительных затрат в 2,9 раза ниже в сравнении с использованием до-

ломитовой муки, то во втором случае в 2,5 раза выше.

С точки зрения общей производственной эффективности, рассчитанной исходя из всех понесенных затрат на получение зерна опытных культур и общей стоимости произведенной продукции, во всех случаях будет получен доход, а рентабельность производства зерна будет колебаться в зависимости от вида мелиоранта и применяемой дозы в звене севооборота с люпином в диапазоне 2,2–10,1 %, в звене без люпина – в пределах 5,1–14,7 %.

С учетом неоднозначности ситуации, связанной с несформированностью на белорусском рынке цены трепела как мелиоранта, полезно выявление предельной допустимой величины затрат на известкование почв различными мелиорантами в дозах, предусмотренных описанным полевым опытом, и расчета предельных отпускных цен мелиорантов, которые позволили бы получить минимально обоснованную рентабельность дополнительных затрат 5 % (или норма 0,05).

С этой целью разработаны формулы (1–3) для расчета необходимых показателей. Они получены путем выражения общих затрат на известкование (формула 1) и отпускной цены на мелиоранты (формулы 2–3) из формул расчета эффективности дополнительных затрат на агрохимические меры и калькуляции затрат на известкование в расчет на 1 га:

$$Z_{\text{изв}}^{-\text{пред}} = \sum \Delta C - (\sum Z_{\text{уд}} + \sum \Delta Z_{\text{убор}}) \cdot (N_{\text{эф}} + 1) / (N_{\text{эф}} + 1), \quad (1)$$

где  $Z_{\text{изв}}^{-\text{пред}}$  – предельные затраты на известкование при заданной норме эффективности, руб./га;

$\sum \Delta C$  – стоимость прибавки продукции суммарной за период действия мелиоранта (4 года), руб./га;

$\sum Z_{\text{уд}}, \sum \Delta Z_{\text{убор}}$  – суммарные затраты на ежегодное внесение удобрений (с учетом их стоимости) и уборку, транспортировку и доработку прибавки урожая, руб./га;

$N_{\text{эф}}$  – норма эффективности (в нашем расчете принят 0,05, или 5 % рентабельности дополнительных затрат);

$$C_{\text{мелио}}^{-\text{пред}} = (Z_{\text{изв}}^{-\text{пред}} - Z_{\text{псд}} - Z_{\text{тран}} - Z_{\text{внес}}) / V, \quad (2)$$

где  $C_{\text{мелио}}^{-\text{пред}}$  – предельная стоимость мелиоранта с учетом его доставки на промежуточный склад и доработки (рыночная цена), руб./га;

$Z_{\text{псд}}, Z_{\text{тран}}, Z_{\text{внес}}$  – затраты на разработку проектно-сметной документации (распределенные на 1 га), транспортировку мелиоранта до поля, внесение в почву, руб./га;

$V$  – количество мелиоранта в физическом весе, внесенного на 1 га, т/га.

Предельная стоимость мелиоранта с учетом его доставки на промежуточный склад и доработки ( $C_{\text{мелио}}^{-\text{пред}}$ ) может быть как окончательной, так и промежуточной ценой. В случае не-



обходимости доработки мелиоранта (холдинг «Агромашсервис») предельная отпускная цена рассчитывается следующим образом:

$$O_{ц}^{-пред} = (C_{мелио}^{-пред} - Z_{жд-ав} - Z_{дорб}) / (1 + НДС/100), \quad (3)$$

где  $O_{ц}^{-пред}$  – предельная отпускная цена на мелиорант (без НДС) при заданной норме эффективности, руб./т;

$Z_{жд-ав}$  – затраты на доставку от продавца до склада, руб./т,

$Z_{дорб}$  – затраты на доработку мелиоранта на складе, руб./т;

НДС – ставка налога на добавленную стоимость, примененная продавцом (колеблется от 10 до 20 %).

Расчет по приведенным выше формулам осуществлен исходя из минимально оправданной 5%-й рентабельности затрат на известкование дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (с  $pH_{KCl} - 5,85$ ;  $P_2O_5 - 142$  мг/кг почвы;  $K_2O - 226$  мг/кг почвы;  $^{137}Cs - 17,8$  Ки/км<sup>2</sup>;  $^{90}Sr - 0,19$  Ки/км<sup>2</sup>). В качестве предельной стоимости известкования выбран результат, полученный для звена севооборота яровая пшеница – овес. Данный выбор объясняется низкой производственной эффективностью применения мелиорантов при возделывании люпина, для которого оптимальный диапазон кислотности почв отличается от полученной в опыте в сторону более кислой реакции. В то же время при использовании других зернобобовых культур (горох, пелюшка) результаты по прибавке урожайности и далее эффективности мелиорантов предположительно будут более высокими.

Таким образом, установлено, что для звена севооборота яровая пшеница – овес стоимость известкования 1 га при использовании доломитовой муки не должна превышать

633,22 руб./га, при использовании трепела в полной дозе – 840,31 руб./га, трепела в половинной дозе – 777,55 руб./га (табл. 5).

При этом предел отпускных цены доломитовой муки – 44,07 руб./т (то есть допустимо повышение фактической цены на 32 %), трепела при использовании в полной дозе – 13,32 руб./т (на 15 % ниже принятой в расчете для «дешевого» трепела), в половинной дозе – 48,43 руб./т. (в 3,1 раз дороже «дешевого» трепела).

При обеспечении расчетной предельной цены трепела 13,32 руб./т и сохранении фактической отпускной цены на доломитовую муку (33,34 руб./т) общая эффективность производства культур в звене севооборота (с учетом полученных в опыте прибавок урожая) в вариантах с использованием полной дозы трепела незначительно уступает вариантам с доломитовой мукой: на 4,2 процентных пункта (далее – п. п.) в звене с люпином и 1,9 п. п. в звене без люпина, а в половинной дозе превосходит его: на 6,9 п. п. в звене с люпином и 9,5 п.п. в звене без люпина (табл. 6).

Таблица 5. Предельные затраты на известкование и отпускная цена на мелиоранты при норме доходности затрат на агрохимизацию 5 % в звене яровая пшеница – овес

Показатель	Доломитовая мука (полная доза)	Трепел (полная доза)	Трепел (половинная доза)
Предельная стоимость известкования из расчета на 4 года, руб./га	633,22	840,31	777,55
Предельная стоимость известкования из расчета на 1 год, руб./га	158,30	210,08	194,39
Предельная цена доработанного мелиоранта (рыночная цена), руб./т	76,22	25,81	67,95
Предельная отпускная цена мелиоранта от производителя, руб./т	44,07	13,32	48,43

Таблица 6. Прогнозируемая эффективность производства продукции в звене севооборота в среднем

Варианты опыта	Дополнительный эффект		Общая экономическая эффективность производства продукции	
	дополнительный доход ( $\Delta D_{\text{прог}}$ ), руб./га	эффективность дополнительных затрат ( $\Delta \varepsilon_{\text{прог}}$ ), %	общий доход ( $D_{\text{прог}}$ ), руб./га	эффективность производства ( $\varepsilon_{\text{прог}}$ ), %
<i>звено пшеница яровая – овес – люпин</i>				
Контроль	–	–	357,8	20,2
NPK + дол. мука	157,4	–11,3	200,4	12,4
NPK + трепел 1	–228,7	–14,3	125,9	8,2
NPK + трепел 0,5	–20,8	–1,6	337,0	19,3
<i>звено пшеница яровая – овес</i>				
Контроль	–	–	80,7	7,8
NPK + дол. мука	92,0	8,9	172,7	15,3
NPK + трепел 1	70,7	6,0	148,2	13,4
NPK + трепел 0,5	233,9	24,1	314,6	24,8

### Заключение

Трепел с высокой долей действующего вещества (21 %) хорошо проявил себя как известковый мелиорант и радиопротектор на дерново-подзолистых легкосуглинистых почве даже в условиях среды, близкой к нейтральной ( $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,85$ ), при плотности загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  – 660,8 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 7,03 кБк/м<sup>2</sup>.

Среди исследованных вариантов применения мелиорантов (доломитовая мука в дозе до полной нейтрализации кислотности, трепела в полной и половинной дозах) в звене пшеница яровая – овес – люпин наблюдалась более высокая тенденция снижения перехода радионуклидов в зерно при применении цеолитсодержащего агента в полной дозе. В среднем за три года в сравнении с доломитовой мукой значение коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  было ниже на 25 %,  $^{90}\text{Sr}$  – на 12 %. Применение цеолита в половинной дозе менее эффективно в отношении сокращения поступления как  $^{137}\text{Cs}$ , так и  $^{90}\text{Sr}$ .

Наряду с радиологической эффективностью цеолитсодержащих мелиорантов установлено и их преимущество перед доломитовой мукой как в полной, так и в половинной дозах внесения в части прироста урожайно-

сти. Прибавка выхода продукции в звене севооборота пшеница – овес – люпин в варианте с полной дозой трепела на 31,5 % выше, чем с доломитовой мукой, с половинной дозой – на 6,5 %. В звене пшеница – овес в варианте с полной дозой трепела – на 16,3 %, с половинной дозой – на 7,6 %.

Экономическая оценка полученных прибавок имеет неоднозначный характер ввиду отсутствия рыночной цены на трепел как мелиорант. Применение трепела месторождения «Стальное», реализуемого в качестве кормовой добавки, делает его использование неприемлемым вследствие дороговизны. Снижение отпускной цены до уровня мировых цен, что возможно при увеличении объемов добычи местного сырья и доработки его в условиях предприятий холдинга «Агромашсервис», существенно меняет ситуацию.

В данной связи разработаны формулы и определены предельные величины затрат на известкование почв различными мелиорантами и отпускные цены на них, обеспечивающие минимально обоснованную рентабельность дополнительных затрат 5 %. Предельная цена известкования 1 га для полного погашения кислотности с использованием трепела

составила 840,31 руб./га; предельная отпускная цена на него – 13,32 руб./т. Фактический выход на данный уровень отпускных цен на трепел при сохранении цен на доломитовую муку обеспечит эффективность производства продукции в диапазоне 8,2–24,8 %. Наиболее высокие показатели будут получены при при-

менении половинной дозы трепела, необходимой для нейтрализации кислотности (19,3 и 24,8 % в звене с люпином и без люпина), далее по убывающей доломитовой муки (12,4 и 15,3 % соответственно) и трепела в полной дозе (8,2 и 15,3 %).

#### Библиографический список

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Департамент по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС, М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь. – Минск, 2012. – 124 с.
2. Цицишвили, Г. В. Природные цеолиты / Г. В. Цицишвили [и др.]. – М. : Химия, 1985. – 223 с.
3. Инструкция о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель : утв. постановлением М-ва с. х. и продовольствия Респ. Беларусь, 13.10. 2008, № 77. – Минск : М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь, 2008. – 14 с.
4. Агрономическая эффективность карбонатных трепелов месторождения «Стальное» / В. Ю. Агеев [и др.] // Природные ресурсы (Межведомственный бюллетень). – 2006. – № 4. – С. 32–41.
5. Влияние трепела на урожайность и радиологическое качество продукции сельскохозяйственных культур / С. С. Лазаревич [и др.] // Вестн. БГСХА. – 2011. – № 2. – С. 70–75.
6. Прудников, П. В. Использование агрономических руд и новых комплексных минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных почвах / П. В. Прудников. – Брянск : Изд-во ГУП «Клинцовская городская типография». – 2012. – 296 с.
7. Мерзлова, О. А. Влияние цеолитсодержащего мелиоранта трепела на биологическую доступность радионуклидов растениям / О. А. Мерзлова, Т. П. Шапшеева, Т. Н. Агеева // Вестн. БГСХА. – 2018. – № 1. – С. 45–49.
8. ОАО «Доломит». Продукция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dolomit.by/ru/prices.html>. – Дата доступа: 19.11.2020.

Поступила 18 декабря 2020 г.