



Эффективность агрохимических защитных мероприятий на загрязненных радионуклидами пахотных землях

Эффективность агрохимических защитных мероприятий на загрязненных радионуклидами пахотных землях: анализ стоимости предотвращенных доз облучения

В отдаленный период после Чернобыльской аварии основными доминирующими радионуклидами являются ^{137}Cs и ^{90}Sr с периодом полураспада 30 лет и 28,7 лет соответственно. Радиоактивное загрязнение почв, являющихся основным депо радионуклидов в экосистемах и начальным звеном трофических цепей, обуславливает накопление изотопов в организмах растений, животных и человека, а также формирование дозовых нагрузок. При разработке стратегий применения защитных мероприятий в растениеводстве, направленных на получение максимального эффекта от их использования с минимальными дополнительными вложениями, необходимо учитывать ряд факторов к числу которых, определяющих формирование доз внутреннего облучения, относятся плотность и состав выпадений, тип и плодородие почв.

Ликвидация последствий аварии в агропромышленном комплексе стала важным элементом в обеспечении радиационной безопасности населения. Разработанная система контрмер привела к снижению доз облучения населения и в значительной степени сократила производство загрязненной продукции. Исследователи указывают, что наибольший эффект от применения данных контрмер отмечался в первые годы после аварии, уменьшаясь во времени [9]. Эффективность снижения содержания радионуклидов в урожае в результате применения агрохимических защитных мер на кислых и бедных питательными веществами почвах существенно выше, чем на плодородных [11]. Известкование и внесение повышенных доз калийных удобрений является основным агрохимическим способом снижения миграции ^{90}Sr и ^{137}Cs из почвы в растения.

Согласно нормам радиационной безопасности НРБ-2000 и Научного комитета

ООН по действию атомной радиации, в качестве основного дозового предела для населения при нормальных условиях установлено значение эффективной дозы, равное 1 мЗв в год, сверх годовой эффективной эквивалентной дозы от природных источников, составляющей 2,4 мЗв [3, 5]. При обосновании стратегий ведения сельскохозяйственного производства на загрязненных территориях, а также при анализе эффективности защитных мероприятий помимо использования радиозэкологических критериев (т. е. оценки снижения удельной активности радионуклидов в продукции после внедрения контрмеры) широко используются радиологические показатели (оценка предотвращенной дозы за счет применения защитной меры, выраженная в единицах коллективной дозы и измеренная в чел.-Зв).

Критерием эффективности защитных мер является оценка международных экспертов (МКРЗ, МАГАТЭ) для развитых стран. Проведение защитного мероприятия может считаться оправданным, если в его результате стоимость снижения коллективной дозы на 1 чел.-Зв составят 20 тыс., USD с возможными вариациями в 2 раза в обе стороны, т. е. от 10 до 40 тыс. USD/чел.-Зв. [8, 13]. Данные значения стоимости предотвращенной дозы могут рассматриваться в качестве критерия обоснованности экономической целесообразности проведения контрмеры. Если стоимость предотвращенной дозы выше значений указанного интервала, вмешательство не может считаться экономически оправданным. В долгосрочный период после аварии существует необходимость в более взвешенной оценке применения контрмер для более эффективного использования материально-технических ресурсов. Целью данного исследования было установить ожидаемую эффективность оптимизации кислотности и содержание подвижного калия в почве при снижении коллективной дозы облучения населения Республики Беларусь ^{90}Sr и ^{137}Cs путем дозовой оценки и стоимости затрат на предотвращение коллективной дозы.

Объекты и методы исследований

В расчете прогноза загрязнения продукции использована электронная база данных агрохимического и радиологического обследования сельскохозяйственных земель, проведенного в 2005-2008 гг. Институтом почвоведения и агрохимии: рН и содержание подвижного K_2O , плотности загрязнения ^{90}Sr и ^{137}Cs пашни по Гомельской, Могилевской и Брестской областям в разрезе районов, коэффициенты перехода ^{90}Sr и ^{137}Cs из почвы в зерновые культуры (озимая рожь, озимое тритикале, озимая и яровая пшеница, ячмень и овес) в зависимости от рН и обеспеченности почвы калием с учетом доли зерновых культур в размере 50% от площади пашни [12].

Для прогноза загрязнения урожая ^{90}Sr использованы верхние границы значений оптимальных параметров $pH_{(RCI)}$ для дерново-подзолистых суглинистых почв - 6,7, супесчаных - 6,2, песчаных - 5,6. Для прогноза загрязнения урожая ^{137}Cs использованы верхние границы значений оптимальных параметров содержания подвижного калия (K_2O) для дерново-подзолистых суглинистых почв - 300, супесчаных - 250, песчаных - 200 мг/кг почвы [2]. В данной работе расчеты были выполнены для пахотных земель с плотностью загрязнения ^{90}Sr свыше 0,15 Ки/км² (5,55 кБк/м²) и ^{137}Cs свыше 1 Ки/км² (37 кБк/м²).

Расчет предотвращенных коллективных доз облучения E_{coll}^{avert} ^{90}Sr или ^{137}Cs за счет оптимизации кислотности почв или содержания подвижного калия в почве производился по формуле:

$$E_{coll}^{avert} = Pz (KПф - KПо) \times 37 \times V \times dk_1, \text{ чел.} - \text{Зв, (1)}$$

где Pz - плотность загрязнения почв ^{90}Sr или ^{137}Cs , Ки/км²; $KПф$ - коэффициент перехода радионуклида [12] при фактических значениях агрохимических показателей в зависимости от гранулометрического состава почв; $KПо$ - коэффициент перехода радионуклида [12] в сельскохозяйственную культуру при оптимальных значениях агрохимических показателей в зависимости от гранулометрического состава почв; 37 - коэффициент пересчета нКи/кг в Бк/кг; V - производство растениеводческой продукции в год с единицы площади (га), кг (усредненные данные за 2005-2008 гг.); dk_1 , - коэффициент

пересчета от годового поступления ^{90}Sr или ^{137}Cs в организм человека к эффективной дозе.

Поскольку ^{90}Sr накапливается в организме человека в течение всей жизни, для расчетов был использован дозовый коэффициент 8×10^{-8} Зв/Бк для критической группы (дети в возрасте 12-17 лет), для ^{137}Cs применялся дозовый коэффициент для взрослого населения (старше 17 лет) — $1,3 \times 10^{-8}$ Зв/Бк [3].

Стоимость предотвращенной дозы облучения рассчитывалась как отношение величины предотвращенной дозы к размеру затрат на проведение агрохимической защитной меры на 1 гектаре.

Дополнительные дозы калийных удобрений на загрязненных землях вносятся с основными дозами, рассчитанными на запланированный урожай, и, следовательно, дополнительное внесение калия обеспечивает повышение содержания калия в почве. Для расчетов по достижению заданного оптимального содержания подвижного калия в почве в исследовании использованы нормативы затрат калийных удобрений сверх выноса с урожаем для увеличения содержания подвижного калия на 10 мг/кг K_2O почвы в зависимости от гранулометрического состава почв и исходного содержания калия в почвах (42-103 кг/га K_2O) [9]. Расходы на повышение содержания подвижного калия в почве рассчитаны исходя из стоимости 1 т K_2O калийных удобрений и затрат на внесение - 250 тыс. бел. руб. (95 USD) на тонну при распределении этих затрат сроком на 5 лет. Для расчетов достижения заданной оптимальной $pH_{(RCI)}$, в исследовании использованы нормативы расхода $CaCO_3$ для сдвига реакции среды дерново-подзолистых почв на 0,1 рН - 0,75-1,38 т/га в зависимости от гранулометрического состава почв [7]. Затраты на нейтрализацию кислотности были рассчитаны исходя из стоимости 1 т доломитовой муки с внесением - 43,2 тыс. бел. руб. (16 USD) и срока действия последней - 5 лет.

Результаты исследований и их обсуждение

Среди обследованных районов Беларуси высокий вынос ^{90}Sr зерном колосовых культур отмечается в Хойникском (1070 МБк/год), Брагинском (1022) и Речицком (596), низкий - в Лельчицком (6), Славгородском (19) и

Краснопольском районах (13 МБк/год). Существенные различия в выносе радионуклидов с товарной продукцией в районах республики в основном обусловлены величинами плотности и площадей загрязнения ^{90}Sr пахотных почв (см. табл. 1). Всего по республике с загрязненных территорий площадью 169 тыс. га с плотностью загрязнения свыше $0,15 \text{ Ки/км}^2$ с урожаем зерна ежегодно выносятся ^{90}Sr - 4027 МБк/год (3447-4790), что ориентировочно эквивалентно величине потенциальной коллективной дозы облучения населения в 322 (276-383) чел.-Зв. Высокий вынос ^{137}Cs зерном колосовых культур отмечается в Славгородском (609 МБк/год), Ветковском (587), Быхоемском (463), Нароляном (439), низкий - в Пинском (14) и Лунинецком районах (12 МБк/год). Существенные различия в выносе радионуклидов с товарной продукцией в районах республики в основном обусловлены величинами плотности и площадей загрязнения пахотных почв (см. табл. 2). Всего по Беларуси с загрязненных территорий площадью 465 тыс. га с плотностью загрязнения свыше 1 Ки/км^2 с урожаем зерна ежегодно выносятся ^{137}Cs 6065 МБк/год (5209-7226), что ориентировочно эквивалентно величине потенциальной коллективной дозы облучения населения в 78 (67-94) чел.-Зв. Если /честь, что на продовольственные цели используется около 20% произведенного зерна, а при переработке значительная часть радионуклидов остается во вторичных продуктах (отруби) и переход ^{90}Sr из рациона в продукцию животноводства составляет 0,04-3,2%, ^{137}Cs - 0,48-25% на килограмм продукта, то расчетные коллективные дозы ^{90}Sr при использовании зерна в продовольственных целях, на фураж и переработку будут на порядок ниже и по самым жестким прогнозам составят ориентировочно менее 30, а ^{137}Cs - менее 26 чел.-Зв в год [12].

Для оптимизации защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве обычно используют анализ «затраты - выгода», который приводит экономические и радиологические показатели к единой стоимостной шкале - стоимости предотвращенной коллективной дозы (1 чел.-Зв) [8, 10].

При расчете затрат на предотвращение коллективной дозы за счет оптимизации кислотности почвы под зерновые культуры

путем внесения доломитовой муки нами установлено, что в Хойникском и Брагинском районах с высокой плотностью загрязнения ^{90}Sr эти затраты минимальны и составляют соответственно 21 и 24 тыс. USD на 1 чел.-Зв на гектар пашни, в Чечерском, Мозырском и Костюковичском районах данные расходы превышают 90 тыс. USD. Предотвращение коллективной дозы за счет оптимизации содержания подвижного калия в почве под зерновые культуры путем внесения калийных удобрений минимально в Добрушском, Хойникском, Ветковском, Краснопольском и Нароляном районах (82-102 тыс. USD на 1 чел.-Зв на гектар пашни), максимально в Пинском и Мозырском районах {более 700 тыс. USD).

Республика Беларусь обладает большими запасами минерального сырья для производства калийных удобрений и доломитовой муки. Объемы их получения полностью обеспечивают потребности сельского хозяйства страны в калийных удобрениях и извести при сравнительно невысоких внутренних ценах. Однако даже при низких внутренних ценах на доломитовую муку и хлористый калий расходы на предотвращение 1 чел.-Зв коллективной дозы достаточно высокие и в большинстве загрязненных районов превышают затраты, понесенные за 20-летний период после аварии - 112 тыс. USD [6].

В настоящее время в ряде районов республики имеется значительная часть почв с реакцией среды, близкой к нейтральной. В Гомельской области при средневзвешенном показателе $\text{pH}_{(\text{KCl})}$, $^{90}\text{Sr} < 0,15 \text{ Ки/км}^2$ его значение составляет на пахотных почвах - 5,88 [1], на загрязненных землях - 6,04 (+0,16); в Могилевской области - 6,08 и 6,23 (+0,15) соответственно (см. табл. 3). В Брагинском районе средневзвешенные значения $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ составляют 6,08, в Хойникском - 6,19, Кормянском - 6,17, в Краснопольском районе Могилевской области - 6,19, Чериковском - 6,36 и т. д. В настоящее время возможности радикального снижения поступления радиоактивного стронция в сельскохозяйственные культуры за счет оптимизации кислотности почв в вышеназванных районах в значительной степени исчерпаны, поскольку более 75%

пахотных земель района имеет реакцию почв выше $pH_{(КС)} > 5.5$.

В Гомельской области при средневзвешенном показателе содержания подвижного калия в целом на пахотных почвах в 164 мг/кг K_2O [1] на загрязненных землях его содержится 236 (+72), в Могилевской - 191 и 209 (+18), Брестской области - 177 и 187 (+10) мг/кг K_2O соответственно (см. табл. 4). Возможности радикального снижения поступления радиоцезия в культуры за счет оптимизации калийного питания в большинстве районов Гомельской и Могилевской областей в значительной степени исчерпаны.

Рассчитано, что высокий эффект (стоимость менее 40 тыс. USD на 1 чел.-Зв на гектар пашни) на предотвращение коллективной дозы ^{90}Sr при возделывании зерновых культур можно ожидать при известковании дерново-подзолистых супесчаных почв с плотностью загрязнения ^{90}Sr более 0.32 Ки/км² (12 кБк/м²), песчаных - более 0,42 (16), суглинистых - более 0,45 Ки/км², или 17кБк/м² (см. табл. 5). В настоящее время доля пахотных почв с плотностью загрязнения ^{90}Sr свыше 0,3 Ки/км² составляет около половины от площади загрязненных пахотных земель -86 тыс. га. Высокий эффект на предотвращение коллективной дозы ^{137}Cs при возделывании зерновых культур можно ожидать при оптимизации калийного режима дерново-подзолистых супесчаных почв с плотностью загрязнения ^{137}Cs более 25 Ки/км² (925 кБк/м²), песчаных - более 32 (1184), суглинистых - более 17 Ки/км², или 629 кБк/м². В настоящее время доля пахотных почв с плотностью загрязнения ^{137}Cs свыше 15 Ки/км² составляет незначительную часть от площади загрязненных пахотных земель -15 тыс. га (-3,3%).

Оптимизация реакции и обеспеченности почв калием является важным условием повышения урожайности сельскохозяйственных культур и получения потенциальной прибыли при производстве нормативно чистой продукции на загрязненных территориях. Если стоимость прибавки урожая, полученной от применения защитной меры, покрывает понесенные расходы и, соответственно, затраты на предотвращение коллективной дозы, то применение контрмеры, даже при нулевой рентабельности, будет экономически оправданным с точки зрения снижения

коллективных доз облучения и при низкой плотности загрязнения почв, но при условии, что темпы снижения удельной активности радионуклидов в урожае будут выше, чем темпы роста прибавки урожая после агрохимических защитных мер.

Выводы

В настоящее время возможности радикального снижения поступления радиоактивных стронция и цезия в сельскохозяйственные культуры за счет оптимизации реакции и калийного режима почв в загрязненных радионуклидами районах в значительной степени исчерпаны, поскольку значительная часть пахотных земель имеет оптимальную обеспеченность калием и pH.

При определении затрат на предотвращение коллективной дозы за счет оптимизации кислотности почвы под зерновые культуры путем внесения доломитовой муки установлено, что минимальные затраты на 1 чел.-Зв на гектар пашни можно прогнозировать в Хойникском и Брагинском районах, характеризующихся высокой плотностью загрязнения ^{90}Sr . Высокого эффекта при снижении коллективной дозы от оптимизации реакции и калийного статуса можно ожидать на почвах с плотностью загрязнения ^{90}Sr более 0,3 Ки/км² (11,1 кБк/м²) и ^{137}Cs более 15 Ки/км² (555 кБк/м²).

Принимая в расчет теперешнее состояние плодородия почв, можно отметить, что в ближайшие годы по мере снижения плотности их загрязнения в результате естественного распада радионуклидов, оптимизации почвенной кислотности и содержания подвижного калия удельные затраты на предотвращение доз облучения будут расти и, соответственно, дозовая эффективность известкования и внесения калийных удобрений будет падать. Несмотря на то, что дозовые нагрузки от «чернобыльских радионуклидов» в настоящее время ниже доз облучения от иных источников, мероприятия по радиационной защите должны планироваться не только с учетом получения дозового и экономического эффектов, но и принимая во внимание их социальную значимость. В отдаленный период после аварии на ЧАЭС основная задача применения данной защитной меры - поддержание достигнутого уровня плодородия почв с целью получения растениеводческой

продукции с минимумом содержания радионуклидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. - Минск: РУП «ИПА НАН Беларуси», 2006. - 288 с.
2. Агрохимические регламенты для повышения плодородия почв и эффективного использования удобрений: учеб. пособие / В. В. Лапа [и др.]. - Горки: БГСХА, 2002. - 48 с.
3. ГН 2.6.1.8-127-2000. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000). - Минск: УП ДИЭКОС, 2001 - 124 с.
4. Инструкция определения дополнительной потребности материально-технических ресурсов для сельского хозяйства в зоне радиоактивного загрязнения. - Минск, 1999. - 26 с.
5. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации; доклад Науч. комитета ООН по действию атомной радиации Генеральной Ассамблее за 1988 г.-М.; Мир, 1993.-Т. 2.-341 с.
6. Кенигсберг, Я. Э. Оценка предотвращенного ущерба при ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в Республике Беларусь / Я. Э. Кенигсберг, Ю. Е. Крюк // Радиация и риск. - 2007. - Т. 16, № 2-4. - С. 27-32.
7. Клебанович, Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. - Минск: Изд-во БГУ, 2003. - 322 С.
8. Оптимизация радиационной защиты на основе анализа соотношения «затраты -выгода» / Публикация 37 МКРЗ. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 196 с.
9. Панов, А. В. Влияние сельскохозяйственных защитных мероприятий на облучение населения, проживающего на территориях, загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС. Радиационная биология / А. В. Панов [и др.] // Радиоэкология. - 2006. - № 46 (2). - С. 273-279.
10. Панов, А. В. Оптимизация защитных мероприятий в сельских населенных пунктах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС/А. В. Панов, С. В.Фесенко, Р. М. Алексахин//Докл. Рос. акад.с.-х. наук.-2005.-№3. -С. 3-6.
11. Путятин, Ю. В. Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию: монография / Ю. В. Путятин. -

Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2008. - 255 с.

12. Руководство по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 1993-1995 гг. - Минск, 1993. - 116 с.
13. Age dependent doses to members of the public from intakes of radionuclides: part I / ICRP publication. - Pergamon Press, 1990. - № 56.

РЕЗЮМЕ

Представлены результаты исследований по изучению влияния оптимизации почвенной кислотности и содержания подвижного калия на снижение коллективной дозы облучения населения Республики Беларусь. На основании анализа соотношения «затраты -выгода» показано, что расходы на предотвращение коллективной дозы при известковании почв под зерновые культуры составляют 21-170 тыс. USD, при оптимизации содержания подвижного калия - более 80 тыс. USD на 1 чел.-Sv в зависимости от плотности загрязнения почв ^{90}Sr и ^{137}Cs проблемных районов. С экономической точки зрения дозовый эффект при применении агрохимических защитных мероприятий можно ожидать на почвах с плотностью загрязнения ^{90}Sr выше 11 кБк/м^г и ^{137}Cs выше 555 кБк/м².

SUMMARY

Results of researches on study of efficiency of soil acidity and potassium moveable soil content optimization on decrease of a collective dose of an irradiation on the population of Belarus are submitted. On the basis of the «cost -benefit» analysis it is shown, that expenses for averted collective dose at liming on cereals are 21-170 thousand USD, at potassium moveable soil content optimization more than 80 thousand USD per 1 man.-Sv depending on density of ^{90}Sr and ^{137}Cs soil contamination of rural districts. From the economic point of view dose efficiency at application agrochemical countermeasures can be expected on soils with density ^{90}Sr contamination more than 11 kBq g⁻¹. ^{137}Cs more than 555 kBq m⁻².

Поступила 26.02. 2009

Юрий ПУТЯТИН

ведущий научный сотрудник

Института почвоведения и агрохимии,

доктор сельскохозяйственных наук,

доцент

Источник: Аграрная экономика.-2009.-№3.-
С.46-52.