

МЕРОПРИЯТИЯ В ОБЛАСТИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И АГРОХИМИИ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Р.М. Алексахин, акад. РАН, ВНИИСХРАЗ

Работа атомных электростанций и других предприятий полного ядерного топливного цикла в штатном и аварийном режимах сопровождается выбросом радионуклидов в окружающую среду, в том числе сферу сельскохозяйственного производства. Как следствие население, находящееся в области влияния этих предприятий, попадает в поле воздействия нескольких источников облучения: 1) облака, содержащего радионуклиды, при их атмосферном выбросе; 2) радионуклидов, поступивших на подстилающую поверхность (прежде всего почву); 3) радионуклидов при ингаляции; 4) радиоактивных веществ, поступающих с пищевыми продуктами (сельскохозяйственной продукцией). Система реабилитационных мероприятий, нацеленных на поддержание радиологического благополучия в природной среде, куда поступают или где уже находятся антропогенные радионуклиды, предполагает максимальное ограничение радиационного влияния от всех указанных источников облучения, вклад которых в суммарную дозовую нагрузку на человека может существенно варьировать.

В большом числе радиоэкологических ситуаций наиболее важную роль играет последний из указанных путей радиационного воздействия на население – поступление радионуклидов в организм человека с пищевыми (в первую очередь сельскохозяйственного производства) продуктами, произведенными в регионе с повышенным содержанием радионуклидов (местной продукцией), что приводит к формированию внутреннего облучения. Вклад этого канала радиационного воздействия зависит от многих факторов (состава радионуклидов, типа пищевого рациона, особенностей почвы и др.) и может достигать 50% и более от суммарной дозовой нагрузки. Многолетний опыт ликвидации последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды показывает, что снижение дозы облучения населения от облучения от находящихся в его среде обитания радиоактивных веществ связано прежде всего именно с ограничением поступления радиоактивных веществ с сельскохозяйственными пищевыми продуктами [3]. В этом случае речь идет о реализации системы реабилитационных мероприятий в агропромышленном комплексе.

Исторически истоки научных представлений о закономерностях поведения искусственных радионуклидов (изначально это коснулось радиоактивных продуктов деления – ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{109}Ru – ^{109}Rh , ^{137}Cs , ^{144}Ce – ^{144}Pr



и некоторых других) в почве и в системе почва – растение связаны с деятельностью выдающегося ученого академика ВАСХНИЛ В.М. Ключковского (1900–1972) – ученика академика Д.Н. Прянишникова. В созданной им в 1946 г. Биофизической лаборатории (БФЛ), вошедшей в состав Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (ныне РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева), были проведены первые в мире вегетационные опыты по изучению почвенной химии продуктов деления и их накопления сельскохозяйственными растениями под влиянием

известкования и внесения минеральных удобрений. Результаты этих исследований отражены в книге «О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступлении в растения и накоплении в урожае», вышедшей в 1956 г. под редакцией В.М. Ключковского [1]. Приблизительно в эти же годы сводные результаты по сельскохозяйственной радиоэкологии, полученные западными учеными, были обобщены в монографии «Радиоактивность и пища человека» (“Radioactivity and Human Diet”), опубликованной в 1966 г. под редакцией Р.С. Расселла и переведенной на русский язык под редакцией В.М. Ключковского в 1971 г. [2].

Наглядным примером в практике использования сельскохозяйственных контрмер, ограничивающих поступление радионуклидов в организм человека, находящегося на территории с повышенным содержанием радионуклидов, являются регионы крупных радиационных аварий, приведших к радиоактивному загрязнению значительных аграрных угодий (Кыштымской в 1957 г. на Южном Урале с образованием Восточно-Уральского радиоактивного следа, площадь 23 000 км², аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. (площадь 150 000 км²) и аварии на японской АЭС «Фукусима Дайичи» в 2011 г. Эти аварии часто называют аграрными (коммунальными) в силу ряда причин, одной из основных явилось то, что содержащая радионуклиды сельскохозяйственная продукция (а также пищевая продукция леса) предопределила значительный вклад внутреннего облучения в общую дозовую нагрузку.

Важное значение поступления радиоактивных веществ в организм человека с сельскохозяйственными продуктами привело к тому, что защитные аграрные мероприятия стали центральными в системе обеспечения радиационной защиты окружающей среды в условиях ее радиоактивного загрязнения. Нужно подчеркнуть, что контрмеры затронули практически все ветви сельскохозяйственного производства – земледелие,

растениеводство, животноводство, перерабатывающие отрасли и др. Однако, ведущее место в этом комплексе принадлежит защитным контрмерам, затрагивающим систему почва – растение (в англоязычной литературе введен специальный термин *soil based* – основанные на свойствах почвы меры) [4]. Звено почва – растение является исходным в миграции радионуклидов по трофической цепи почва – растение – животное – сельскохозяйственная продукция – человек. Как показал мировой опыт по реабилитации радиоактивно загрязненных угодий, именно в компоненте почва – растение защитные меры по ограничению интенсивности миграции радионуклидов оказываются одними из наиболее радиологически, экономически и технологически реализуемых, если анализировать всю систему перехода радиоактивных веществ по всей трофической цепи от радиоактивных выпадений до поступления радионуклидов в организм человека. Защитные мероприятия по ограничению перехода радионуклидов в агрохимии и земледелии (как, впрочем, и в других отраслях АПК) можно разделить на общие и специальные. К первой категории из указанных относятся те, которые помимо решения задачи снижения содержания радионуклидов в почвах и растениях, способствуют увеличению плодородия почв, урожайности и улучшению качества растений. Ко второй – специальным мерам – принадлежат те, которые направлены только на достижение радиологических целей – снижения в почвах и растениях концентрации радионуклидов.

К числу основных общих защитных мероприятий по снижению накопления радионуклидов в сельскохозяйственных растениях в области земледелия и агрохимии относятся:

- глубинная пахота;
- пахота с перемещением верхнего, наиболее загрязненного, слоя почвы на глубину;
- удаление верхнего наиболее загрязненного слоя почвы;
- известкование кислых почв;
- внесение минеральных и органических удобрений.

В категорию специальных защитных мероприятий в области агрохимии и почвоведении можно включить:

- добавление специальных реагентов по усилению сорбции радионуклидов твердой фазой почвы;
- промывание почв;
- внесение цеолитов и глинистых минералов;
- фитомелиорацию.

Опыт ликвидации последствий радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий убедительно показал, что выполнение ряда общих защитных мер может обеспечить достаточно эффективное снижение содержания радионуклидов в растениях. Благоприятным моментом с точки зрения минимизации концентрации радионуклидов в урожае является наличие в большом числе радиозкологических ситуаций в составе загрязняющей смеси антропогенных радионуклидов двух наиболее опасных достаточно долгоживущих – ^{90}Sr и ^{137}Cs (оба из них имеют так называемые неизотопные стабильные носители – аналоги, соответственно, Са и К – важные биогенных макроэлементы). Обеспечение оптимальных режимов содержания в почве Са (известкование) и режима питания растений К (внесение повышенных количеств К) надежно обеспечивает

снижение концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs до 2,0-2,5 раза (а для бедных почв это уменьшение достигает и более высоких значений). Именно внесение минеральных удобрений (в первую очередь калийных) и известкование стали одним из основных защитных мероприятий в зонах радиоактивных аварий в Чернобыле и на Южном Урале. В первый год после радиоактивных выпадений хорошо зарекомендовала себя первая вспашка, обеспечившая снижение внешнего облучения и уменьшение перехода ^{90}Sr и ^{137}Cs в растения.

Разнообразные специальные мероприятия в области земледелия и агрохимии на угодьях с повышенным содержанием радионуклидов, по результатам многочисленных экспериментов, в целом свидетельствовали об их незначительной эффективности (промывка, внесение специфических сорбентов и т.д.), и не получили широкого распространения на больших площадях. Неэффективной оказалась и фитомелиорация почв, предполагавшая отчуждение загрязненной фитомассы. Выращивание даже высокопродуктивных сельскохозяйственных растений с высокими коэффициентами накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs не вело к существенному снижению содержания этих радионуклидов в растениях, в почвах (отчуждение фитомассы обеспечивало уменьшение количества ^{90}Sr и ^{137}Cs в растениях меньше, чем давал распад этих радионуклидов).

Более противоречивое мнение вызывала оценка эффективности удаления верхнего наиболее загрязненного слоя почвы. В экспериментах на Восточно-Уральском радиоактивном следе и в зоне аварии на ЧАЭС снятие верхнего наиболее загрязненного слоя почвы получило весьма ограниченное распространение (преимущественно на огородах) и не вошло в широкую практику. Иная ситуация сложилась в зоне аварии на японской АЭС "Фукусима Дайичи": в этом случае снятие верхней загрязненной почвы и складирование её по окраинам полей в загрязненном регионе приняли широкие масштабы, что привело к образованию больших объемов по сути радиоактивных отходов и проблеме обращения с ними. После безуспешных попыток в Японии отказались также от фитомелиорации. Большое внимание здесь уделялось промыванию загрязненных почв (особенно в зоне рисосеяния). В реальности эффективными в этой стране оказались агрохимические приемы, апробированные на землях, оказавшихся в аварийных ситуациях в СССР и России.

Литература

1. Ключевский В.М. О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступлении в растения и накоплении в урожае. - М.: Изд-во АН СССР, 1956.
2. *Radioactivity and Human Diet*. Ed.by R.S.Russell, Oxford, Pergaman Press, 1966.
3. Fesenko S., Jacob P., Ulanovsky A., Chupov A., Bogdevich I., Sanzharova N., Kashparov V., A. Panov A., Zhuchenko Yu. Justification of remediation strategies in the long term after the Chernobyl accident // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2013. Vol. 119. - P. 30-47.
4. *Руководство по применению контрмер в сельском хозяйстве в случае аварийного выброса радионуклидов в окружающую среду*. - МАГАТЭ, Вена, 1994, IAEA – TECDOC-745, ISSN 1011-4289.

**MEASURES FOR THE AGRICULTURAL AND AGROCHEMICAL REHABILITATION OF RADIOACTIVELY
CONTAMINATED AREAS**

R.M. Aleksakhin

***Research Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, Russian Academy of Sciences,
Kievskoe sh. 109 km, Obninsk, Kaluga oblast, 249032 Russia***