

Эффект очистки путем введения сухого реагента из расчета 10 г на литр после аэротенков достиг 99,6 %.

#### Список литературы

1. Сапожникова, Е. Н. Анализ эффективности реагентных методов удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод [Текст] / Н. Н. Красногорская, С. В. Пестриков, Э. Ф. Легуш, Е. Н. Сапожникова // Безопасность жизнедеятельности. – 2004. – №3. – С. 21–22.

2. Лукиных, Н. А. Методы удаления из сточных вод питательных веществ [Текст] / Н. А. Лукиных,

Б. П. Липман, В. П. Криштул. – М. : Стройиздат, 1978. – С. 108–110.

Материал поступил в редакцию 29.03.09.

**Фридланд Сергей Владимирович**, доктор химических наук, профессор

E-mail: fridland@KSTY.ru

Тел. 8(843)231-40-97

**Нуруллин Анас Абдрахманович**, кандидат биологических наук, доцент

Тел. 8 (84342) 5-02-10

E-mail: ch.ineka@mail.ru

**Галанцева Лилия Фагимовна**, аспирантка

Тел. 8 (927) 240-41-19

E-mail: galancvalyly@mail.ru

УДК 502/504:504.53.06

#### С. В. ВАСИЛЕНКОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Брянская государственная сельскохозяйственная академия»

### ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛИВНОЙ ВОДЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЦЕЗИЯ-137 ИЗ ПОЧВЫ

*Описано влияние на интенсивность вымыва цезия из почвы водопроводной, снеговой, дождевой, дистиллированной воды, поверхностных вод открытых водоемов, бытовых сточных вод и животноводческих стоков. Поливы снеговой водой более эффективны, чем дождевой, а дистиллированная вода лучше снеговой. Эффективны бытовые сточные воды и животноводческие стоки. Значительно усиливает выщелачивание радионуклидов обработка воды ультразвуком, насыщение воздухом, внесение удобрений, извести.*

*Выщелачивание цезия, качество воды, обработка интенсификаторами.*

*There is described an influence of tap, snow, rain, distilled, surface water of open ponds, household sewage and cattle effluents on the intensity of caesium washing out from soil. Snow water irrigation is more efficient than rain water, and the distilled water is better than the snow one. Household sewage and cattle effluents are effective. The ultrasonic water treatment, air saturation, introduction of fertilizers, lime significantly intensify leaching of radionuclides.*

*Caesium leaching, quality of water, treatment with intensifiers.*

По данным НКДАР ООН, влияние содержащихся в воде природных радионуклидов калия-40, трития, углерода-14 и искусственных цезия-137, стронция-90 на суммарную дозу облучения населения пренебрежимо мало.

Содержание природных радионуклидов в воде источников орошения при сбросах производственными предприятиями загрязняющих веществ повышается, а искусственные радионуклиды могут накапливаться в воде из-за

аварий, сбросов и выбросов предприятий атомной промышленности и ядерной энергетики.

Радиоактивные вещества могут находиться в воде в ионной, молекулярной форме или во взвешенном состоянии. Выбор метода очистки воды зависит от ее загрязненности, состава радионуклидов и их формы. Наиболее простые и экономичные методы – прямое осаждение, соосаждение или адсорбция на осадки. При изменении рН в сторону нейтрализации (кислых вод известью, щелочных вод кислотами) концентрация примесей обычно уменьшается в сотни и тысячи раз.

При коагуляции коллоидов образующиеся хлопья адсорбируют на своей поверхности различные примеси и увлекают их на дно. Коагуляция эффективна в щелочной среде. Хорошими коагулянтами являются гидроокись алюминия, железо, фосфаты с известью и др. Установлено, что 70 % находящегося в воде цезия-137 содержится на взвешенных частицах, стронция-90 – 5 %.

Перспективен метод ионного обмена, позволяющий извлекать из растворов радиоактивные нуклиды. В качестве ионитов рекомендуется использовать цеолиты близрасположенных от радиоактивно загрязненных территорий месторождений цеолитсодержащих трепелов Фокинского в Брянской области, Хатынецкого в Орловской области.

Несмотря на малое, как правило, содержание цезия в воде источников орошения, при организации поливов необходимо учитывать, что в открытых водоемах при ветровом взмучивании донных отложений или возрастании скоростей течения воды при половодьях и паводках возможно повторное загрязнение воды. По расчетам С. В. Казакова, если использовать водоем комплексно, включая и орошение, критической удельной активностью воды становится уровень 0,015 Бк/л [1].

*Водопроводная вода.* Нормы водопотребления, по которым рассчитываются водопроводные сети населенных пунктов,

учитывают расход воды на полив приусадебных участков. За годы после аварии на Чернобыльской АЭС численность жителей в сельской местности уменьшилась, опустели животноводческие фермы, снизилось водопотребление, соответственно возросли напоры в трубопроводах, сопровождающиеся частыми авариями.

Использование водопроводной воды для промывных поливов на загрязненных радионуклидами землях только улучшит условие эксплуатации водопроводов.

В лабораторных опытах при поливах способом затопления поверхности достигалось снижение удельной активности почвы за сутки на 158 Бк/кг.

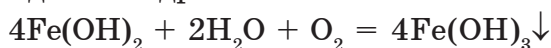
При промывке пахотных почв, отобранных на поливавшихся после Чернобыльской аварии землях с начальной удельной активностью 2303 Бк/кг, вымыв цезия с течением времени не замедлялся, хотя поливные нормы при этом уменьшались. Вымыв цезия из почв, отобранных на неполивном целинном лугу с начальной удельной активностью 11 920 Бк/кг, постепенно замедлялся. Снижение темпов вымыва цезия во времени более характерно и для непрерывного, и для периодического орошения по циклам.

При промывках на приборе Дарси водопроводной водой от цикла к циклу автоматически уменьшается скорость фильтрации, увеличивается плотность почвы в конце цикла.

В водопроводной воде железо содержится в виде двууглекислого железа  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . В результате аэрации воды происходит распад с образованием гидрата закиси железа и углекислоты:



Удаляя углекислоту, гидролиз можно довести до полного распада  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . Соединяясь с воздухом, гидрат закиси железа переходит в коллоидный гидрат окиси железа:



Вода, содержащая двухвалентное железо и кислород, при фильтрации образует на поверхности зерен почвы

пленку из сложного комплекса ионов и окислов железа. Такая пленка рыжего цвета обнаруживается всегда в конце цикла промывки на поверхности почвы. Железо, содержащееся в поглощающем комплексе почвы, можно заменить натрием, введя в воду соль NaCl. Реакция обмена между Fe почвы и Na раствора идет очень быстро. Получается натриевый солончак. При поступлении воды продукт обменной реакции хлористое железо быстро выносится из почвы. Натрий придает почве высокую плотность в сухом состоянии, а во влажном состоянии почва сильно набухает, и ее фильтрационная способность резко снижается.

В процессе проведения опытов (цикл промывки 19) на поверхность почвы была внесена соль NaCl в сухом виде из расчета 66 мг/см<sup>2</sup>. По сравнению с предыдущим циклом фильтрационный расход уменьшился с 0,184 до 0,0573 см<sup>3</sup>/с, но вымыв цезия снизился несущественно: с 81 до 54 Бк/кг. На протяжении первых четырех суток пятисуточного цикла промывки фильтрационная вода содержала много железа (была окрашена в рыжий цвет).

Уплотнение почвы связано не только с отложением в порах и капиллярах железа. Тонкие пылеватые и глинистые частицы отрываются при высоких скоростях фильтрации от стенок пор и капилляров, переносятся вниз, откладываются и снижают пористость почвы. При высушивании содержащиеся в поливной воде соли остаются в почве. Грунтовые воды Брянской области приурочены к меловым отложениям и отличаются высокой жесткостью. Кроме того, изначально сухая, рыхлая почва уплотняется под воздействием воды, разбухания коллоидов, закрытия пор и капилляров при распаде почвенных агрегатов.

Ряд исследователей отмечают влияние растворенного в жидкости воздуха на затухание фильтрационного потока. При фильтрации в пористой среде падение давления вдоль потока воды в соответствии с законом Генри должно

пропорционально уменьшать равновесную концентрацию растворенного в воде газа. Выделение газа может частично или полностью закупорить почвенные поры и снизить водопроницаемость. Это эффект особенно усиливается в пылеватых почвах при малых скоростях фильтрации. Фильтрационные расходы существенно снижаются не только от цикла к циклу, но и в пределах поливных циклов.

При высоких скоростях фильтрации, какие устанавливались в коротких девятичасовых циклах поливов затоплением поверхности, снижения фильтрационных расходов не наблюдалось. При капельном орошении фильтрационные расходы даже возрастали от цикла к циклу: в первом цикле  $Q_{cp} = 0,0472$  см<sup>3</sup>/с, в последнем, десятом, цикле  $Q_{cp} = 0,2879$  см<sup>3</sup>/с. И в первом, и во втором вариантах промывки фильтрационный поток содержал большое количество воздуха, вода из сливной трубки выходила не сплошной струей, а прерывистыми порциями.

В циклах 8, 14 и 21 перед началом полива на поверхность почвы вносилась аммиачная селитра из расчета 66 мг/см<sup>2</sup>, что способствовало увеличению вымыва цезия.

Еще более существенный эффект дает внесение хлористого калия KCl. Внесение 104 мг/см<sup>2</sup> KCl снижает удельную активность почвы в цикле 12 на 172 Бк/кг, в цикле 13 – на 205 Бк/кг, внесение 52 мг/см<sup>2</sup> KCl в цикле 14 – на 207 Бк/кг.

При капельном орошении внесение негашеной извести из расчета 16,6 г на 1 кг сухой почвы в цикле 8 обеспечило такое же снижение удельной активности почвы, как за все 7 предыдущих циклов – 100 Бк/кг.

Внесение уменьшенной в два раза нормы негашеной извести – 8,3 г/кг в цикле 10 обеспечило вымыв 89 Бк/кг, в цикле 13 – 60 Бк/кг.

Эффективным средством является и известковое молоко. Приготовленное в соотношении 1:10 известковое молоко в цикле 15, внесенное в почву перед капельным орошением,

способствовало вымыву 112 Бк/кг.

В ходе опыта к циклу 6 процесс вымыва цезия начал затухать. Чтобы активизировать процесс, поливную воду обрабатывали ультразвуком с помощью бытового прибора «Ретона».

Ультразвуковая вибрация применяется для дезагрегации, дезинтеграции почв и плотных пород [2]. В результате ультразвуковой обработки разрушается кристаллическая структура минералов. Емкость поглощения дерново-подзолистой почвы через три часа ультразвуковой вибрации возрастает на 130 % по отношению к исходной. Воздействие ультразвука, кроме того, выражается в обезвоживании глинистых минералов, содержащих воду в кристаллических структурах, после двухчасовой и более длительной обработки ультразвуком. Под действием ультразвуковой вибрации в цикле 7 удельная активность снизилась на 122 Бк/кг, в цикле 8 – на 95 Бк/кг.

В 9, 10, 11-м циклах воду насыщали воздухом с помощью компрессора. Интенсивность вымыва цезия в среднем продолжала возрастать: цикл 9 – 91 Бк/кг, цикл 10 – 201 Бк/кг, цикл 11 – 135 Бк/кг. Насыщенная воздухом вода проносила воздух через всю насыпную колонну прибора Дарси и, бурля, выходила в фильтрационный сброс.

*Снеговая вода.* При промывках цезия использовалась талая вода двух видов: 1) вода, образовавшаяся в естественных полевых условиях в период зимних оттепелей и весной, ею промывали образцы почвы, установленные в сосудах; 2) вода, образовавшаяся от растаявшего на открытом воздухе во время оттепелей снега, но занесенная в помещение, нагретая до комнатной температуры и в таком состоянии применявшаяся для периодических промывных поливов дождеванием.

Влияние замораживания и оттаивания воды на ее свойства исследовалось рядом ученых. Некоторые результаты изложены в работе [3]. Авторы отмечают увеличение вязкости при низких температурах и для талой, и для

водопроводной воды. Образовавшаяся во время оттепелей вода почти не фильтровалась через слой песка толщиной 0,1 м с диаметром зерен (1...2)  $10^{-4}$  м. Повышенная вязкость воды исчезла через 3...6 сут при комнатной температуре.

Промывка радиоактивной почвы в зимнее-весенний период в полевых условиях во время оттепелей свежерастаявшей водой составила за время с 4.11.07 по 13.05.07 снижение средней удельной активности для верхнего слоя (10 см) 1276 Бк/кг. За весь период выпало 246 мм осадков, или 2460 м<sup>3</sup>/га. Поливы снеговой водой комнатной температуры почти такой же поливной нормой за цикл позволяли снижать в верхнем слое (3 см) удельную активность на 256 Бк/кг, во втором слое (3 см) – на 170 Бк/кг. Таким образом, вязкость воды явно не сказывалась на интенсивности выщелачивания цезия. Поливы снеговой водой после предшествующих поливов дождевой водой снова активизировали начавший было затухать процесс вымыва цезия.

При промывке замороженной почвы иногда наблюдалось слабое снижение удельной активности верхних слоев по сравнению с нижними. Объяснить это может факт подтягивания воды вместе с радионуклидами вверх к замерзающей поверхности почвы. Кроме того, было отмечено, что в верхней части образцов льда образуется большое количество газовых включений и повышается рН [3]. В нижней части эти показатели заметно снижаются. Промывные поливы талой водой можно осуществлять, проводя мероприятия по организации весеннего поверхностного стока, создавая микролиманы на полях, делая снегозадержание и др.

На дачных и приусадебных участках население с давних времен осуществляет снегозадержание, собирает снег в емкости лопатами, организует сбор талой воды, стекающей с крыш домов и хозяйственных построек, строит водоемы – копани и пруды, накапливая сбегавшие с водосборных площадей талые

воды. В дальнейшем эту воду можно рационально (способом дождевания или капельного орошения) использовать одновременно и для вымыва цезия из почв, и для орошения овощей.

*Дождевые воды.* Дождевые воды, так же, как и снеговые, слабоминерализованные. Однако большая поверхность снежинки по сравнению с дождевой каплей, меньшая скорость падения обуславливают высокую сорбционную способность снежинок и интенсивный захват из воздуха различных атмосферных загрязнений при выпадении снега. Различается и химический состав снеговых и дождевых вод. Например, концентрация кальция в зимних осадках меньше, а калия больше, чем в летних дождях. Среднее значение рН для дождя 4,5; для снега 4,4, т. е. почти одинаковое [4]. В почвах с большим содержанием кальция и калия подвижность цезия-137 более высокая, чем в почвах с низкой концентрацией этих элементов [5].

Поливы дождевой водой в пяти суточных циклах без предварительного замораживания почвы обеспечили снижение удельной активности цезия в верхнем слое (0...3 см) почвы за 11 циклов в среднем на 47,2 Бк/кг, с предварительным замораживанием почвы в двух циклах среднее снижение содержания цезия составило 179 Бк/кг.

При поливах талой снеговой водой без предварительного замораживания почвы среднее за 11 циклов снижение удельной активности также в слое 0...3 см достигало 90,3 Бк/кг, с предварительным замораживанием почвы среднее за 4 цикла снижения составило 214 Бк/кг. В указанных вариантах начальная удельная активность почв, поливаемых дождевой и снеговой водой, почти не отличалась. Таким образом, поливы талой снеговой водой вызывают более существенное снижение содержания цезия в почве по сравнению с дождевой водой.

*Дистиллированная вода.* В дистиллированной воде, как известно, почти отсутствуют растворенные газы,

температура выше (если ее не понижать специально), растворенных веществ меньше, чем в талой и дождевой воде. Поэтому интересно знать, какие максимальные значения вымыва цезия могут быть достигнуты при предельных изменениях указанных параметров внешней среды?

В работе [3] утверждается, что решающим фактором, определяющим существенное уменьшение фильтрационного потока во времени, является выделение на стенках пор растворенного в воде газа. Поскольку в полевых условиях температура, давление и концентрация почвенного раствора постоянно меняются, то выделение – растворение воздуха в соответствии с законом Генри – происходит непрерывно и, следовательно, скорость фильтрации также меняется непрерывно.

Дистиллированной водой в лабораторных опытах почва промывалась в 14-ти пятисуточных циклах с периодическим орошением. На супесчаных почвах с исходной удельной активностью 11200...11600 Бк/кг максимальный вымыв после 14-суточного предварительного замораживания почвы достигал 833 Бк/кг, без замораживания – 335 Бк/кг. Максимальный вымыв цезия из легкосуглинистой почвы с исходной удельной активностью 4200 Бк/кг с периодическими поливами без замораживания достигал 144 Бк/кг.

Среднее снижение удельной активности почвы за один цикл промывки без замораживания составляет 101,6 Бк/кг, с замораживанием – 584 Бк/кг. Как видим, эффективность промывки дистиллированной водой выше, чем снеговой, особенно при выщелачивании предварительно замороженной почвы.

*Воды открытых водоемов и сточные воды.* В связи с созданием большого числа прудов (в Брянской области на наиболее радиоактивно загрязненной территории шести западных районов насчитывается 154 пруда), водоемов-копаней в населенных пунктах, на дачных и приусадебных участках,

осушительных каналов, а также в связи с наличием большого количества озер, рек, ручьев, очистных станций в западных районах области интерес представляет выявление особенностей промывки почв при орошении водами открытых водоемов и сточными водами.

В открытые водоемы поступают слабоминерализованные поверхностные воды (особенно в период паводка) и более минерализованные подземные воды (особенно в конце зимнего сезона). На загрязненной радионуклидами территории в открытые водоемы вместе с поверхностными и подземными водами поступают радионуклиды (наиболее сильно в результате водной эрозии водосборных бассейнов). Однако многочисленные измерения активности воды, выполненные после чернобыльской аварии разными исследователями, свидетельствуют, что содержание радионуклидов не настолько велико, чтобы угнетающе действовать на микроорганизмы и фитопланктон, населяющие водоемы. Поступая с поливной водой, эти мельчайшие гидробионты могут снижать скорость фильтрации при промывке почв [3].

Обычно воды открытых водоемов в летний период перенасыщены растворенным кислородом, что объясняется фотосинтезом водных растений и растворением атмосферного воздуха, поэтому и концентрация микроорганизмов велика. Цезий-137 обладает высокой адсорбционной способностью. Установлено, что 70 % находящегося в воде цезия содержится на взвешенных твердых частицах, концентрация которых в воде составляет лишь  $2,7 \cdot 10^{-3} \%$  [6]. Чтобы осевшие взвешенные вещества и гидробионты снова рассеивались в воде, вода перед поливами взбалтывается.

Воды поверхностных водоемов часто имеют нейтральную или слабощелочную реакцию, за исключением водоемов, построенных в болотистой местности, где показатель pH воды низок. Кислая реакция воды объясняется прежде всего растворенной углекислотой и различными органическими кислотами. Такие

воды болотного происхождения с  $pH < 6$  должны более эффективно выщелачивать цезий-137 из почвы.

Для исследования промывающей способности воды открытых водоемов в летний период была отобрана вода из магистрального канала осушительной системы близ поселка Колодезский Новозыбковского района Брянской области. Канал проходит частично по заторфованным низинным участкам. В момент отбора вода не содержала цезий-137.

Максимальное снижение удельной активности супесчаной почвы с исходной удельной активностью 11 664 Бк/кг при поливах водой магистрального канала достигнуто в цикле 11 – 324 Бк/кг, минимальное (цикл 10) – 196 Бк/кг, на легкосуглинистой почве с начальной удельной активностью 4234 – 118 Бк/кг (цикл 14).

Поливы дистиллированной водой с настоем коровяка с фермы крупного рогатого скота Брянской государственной сельскохозяйственной академии дали следующие результаты снижения удельной активности (цикл 12):

слой почвы, см	удельная активность, Бк/кг
0...3	353,0
3...6	208,0
6...9	437,0
9...12	360,0
12...15	288,0
15...19,6	271,0
средняя	318,8

Использование нерадиоактивных сточных вод Новозыбковской очистной станции летнего периода для выщелачивания из почвы цезия снизило удельную активность за цикл на 154 Бк/кг (цикл 17).

### Выводы

Использование для промывных поливов воды открытых водоемов, бытовых сточных вод очистных станций городов и сельских населенных пунктов, животноводческих стоков ферм КРС, обработка воды интенсификаторами – эффективные приемы очистки почв от радионуклидов.

В опытах по промывке почв способом затопления поверхности, дождеванием и капельным орошением объемная активность сбросной воды не превышала 11 Бк/л – предельно допустимой нормы для питьевой воды. При обследовании рек, водоемов, осушительных каналов, питьевых колодцев даже в первые годы после аварии, за редким исключением, объемная активность также не превышала ПДК. Но эти исключения могут объясняться поступлением радионуклидов с поверхностным стоком и вторичным загрязнением со стороны радиоактивного ила. Промывные воды сбрасываются в водоем не непосредственно, а профильтровываются через почвенно-грунтовую толщу, где очищаются и в дальнейшем разбавляются грунтовой водой, притекающей с прилегающего водосбора и с водой водоприемников. Кроме того, в открытых водоемах протекают процессы самоочищения воды.

#### Список литературы

1. **Казаков, С. В.** Принципы оценки радиоэкологического состояния водных объектов [Текст] / С. В. Казаков // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т. 44. – № 6. – С. 694–704.
2. **Зверева, Т. С.** Действие ультразвука на некоторые минералы, встречающиеся в почвах [Текст] / Т. С. Зверева, С. В. Ковеня // Сб. трудов по агрономической физике. Физические проблемы мелиораций и обработки почв. – Л.: «Колос», 1970. – Вып. 22. – С. 88–90.
3. **Бондаренко, Н. Ф.** Физические основы мелиораций почв [Текст] / Н. Ф. Бондаренко. – Л.: «Колос», 1975. – 258 с.
4. **Моисеев, А. А.** Цезий-137 в биосфере [Текст] / А. А. Моисеев, П. В. Рамзаев. – М.: Атомиздат, 1975. – 184 с.
5. **Павлоцкая, Ф. И.** Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах [Текст] / Ф. И. Павлоцкая. – М.: Атомиздат, 1974. – 215 с.
6. **Марей, А. Н.** Санитарная охрана водоемов от загрязнений радиоактивными веществами [Текст] / А. Н. Марей. – М.: Атомиздат, 1976. – 224 с.

Материал поступил в редакцию 31.03.09.

**Василенков Сергей Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (483) 412-42-27

E-mail: poivp@bgsha.com