

## 06.01.00 Агрономия

УДК 502/504:556.114.679:574

**С. В. ВАСИЛЕНКОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», г. Брянск

### **ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РАДИОНУКЛИДА ЦЕЗИЯ ИЗ ПОЧВЫ**

Целью исследований является повышение эффективности мероприятий, направленных на снижение дозы внешнего и внутреннего облучения людей на радиоактивно загрязненных территориях до предусмотренной законом величины 1 мЗв в год за счет применения мелиоративных технологий; улучшение экологической обстановки на радиоактивно загрязненных почвах и территориях населенных пунктов. Для определения фона ионизирующего излучения в полевых условиях использовались стандартные дозиметрические приборы. Отбирались пробы почвы, илстых отложений, воды, растений в соответствии с существующими положениями на проведение полевых исследований. Изменение удельной активности проб в ходе опытов определялось на радиометре с 15-ю повторами каждого измерения. Общее количество выполненных лабораторно-полевых опытов 108, промывных поливов 890. При дождевании в зоне отселения выщелачивание цезия без применения удобрений из легкосуглинистой почвы на 10,15 % обеспечивается промывными нормами 15860, 23503 м<sup>3</sup>/га соответственно без образования поверхностного стока. Применение калийных удобрений усиливает вымыв в 1,5 раза. Те же самые показатели вымыва достигаются на супесчаной почве при промывных нормах 12547, 18599 м<sup>3</sup>/га, а на почве супесчаной пылеватой – при промывных нормах 11847, 16751 м<sup>3</sup>/га. Поливы дождеванием необходимо осуществлять по 12 часов в сутки. За разовый полив в среднем вымывается 1,8...2,1 % цезия и, поливая до 13 раз за осенний промывной сезон, на достижение нормативной годовой дозы облучения потребуются не более 10 лет проведения промывных поливов.

*Технологии промывки почв, цезий-137, очистка воды, снижение дозы радиоактивного облучения.*

*The purpose of researches was the efficiency increasing of the actions directed to the decrease of a dose of an external and internal irradiation of people on radioactively polluted territories up to the size stipulated by the law of 1 mSv per year due to the application of melioration technologies; improvement of ecological conditions on the radioactively polluted soils and territories of populated settlements. For determination of the background of an ionizing radiation in field conditions standard dosimetric devices were used. There were selected samples of soil, silts, water, plants according to the existing regulations on carrying out field researches. Changing of the specific activity of samples in the course of experiments was determined on a radiometer with 15-th repetitions of each measurement. The total number of the fulfilled laboratory - field experiments is 108, washing watering is 890. During overhead irrigation in the resettlement zone, cesium-137 leaching without application of fertilizers from a light-loam soil is provided by 10,15 % by washing norms 15860, 23503 m<sup>3</sup>/ha correspondingly without formation of a surface runoff. Application of potash fertilizers strengthens washing by 1.5 times. The same washing parameters are achieved on the sandy-loam soil under washing norms 12547, 18599 m<sup>3</sup>/hectare, and on silt sandy loam soil at washing norms 11847, 16751 m<sup>3</sup>/hectare. It is necessary to irrigate 12 hours per day. For a single irrigation on the average it is washed out 1,8...2,1 % of cesium and irrigating up to 13 times for an autumn washing season, it is required no more than 10 years of carrying out watering for achieving a normative annual doze of irradiation..*

*Soil washing technology, cesium-137, water treatment, reduction of the dose of radioactive irradiation.*

В зонах радиоактивного загрязнения Брянской области на 01.01.2012 г. находилось 706 населенных пунктов с общей численностью населения 310 тыс. человек. Выводы ученых таковы: «Процессы освобождения и очищения почв от радионуклидов идут крайне медленно» [1]. Можно считать, что в среднем населенном пункте проживает порядка 500 человек. По литературным источникам 70 % продуктов питания жители потребляют с личных хозяйств. Чтобы обеспечить жителей среднего населенного пункта продуктами питания, необходимо на приусадебных участках создать оросительную систему на площади около 25 га. На такой площади можно осуществлять промывные поливы дождевальной техникой, разработав технологические правила среднеинтенсивной технологии [2, 3, 5].

Процесс выщелачивания цезия из почвенных частиц можно разделить на три этапа:

1. Внутри частиц происходит перенос цезия из центра к поверхности частиц по законам молекулярной диффузии:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\pi^2 D}{4R^2} (C_{ж} - C),$$

где  $C_{ж}$  и  $C$  – концентрация цезия соответственно в жидкой и твердой фазах;  $D$  – коэффициент молекулярной диффузии;  $R$  – радиус частицы.

Очевидно, уменьшив радиус частиц, т. е. измельчив их, можно существенно увеличить градиент концентрации, а значит, скорость диффузии и снять внутридиффузионное торможение процесса.

2. Вышедший из пор почвенных частиц цезий, образует на стенках капилляров пристенный диффузный слой высокой плотности и вязкости. Перенос цезия в этом слое также подчиняется законам молекулярной диффузии:

$$q = \frac{D_{ж}}{\delta} (C_{ж} - C),$$

где  $q$  – скорость переноса вещества на единицу площади;  $C$  – концентрация цезия на границе раздела фаз;  $\delta$  – толщина диффузного слоя.

Чтобы снять внешне диффузионное торможение и сделать эту стадию диффузии быстрой, необходимо уменьшить толщину диффузного слоя  $\delta$ , что достигается созданием больших скоростей потока,

турбулизацией потока и повышением температуры.

3. Процесс выщелачивания должен протекать в кинетической области, когда скорость процесса зависит от произведения концентраций взаимодействующих компонентов системы:

$$\frac{dC_{сн}}{dt} = \mu_1 \cdot C \cdot C_{сн},$$

где  $C_{сн}$  – снятая концентрация цезия в процессе промывки;  $C$  – концентрация цезия в почве;  $\mu_1$  – скоростной коэффициент.

Признаком того, что процесс протекает в кинетической области, является зависимость скорости процесса от скорости фильтрации.

В разработанной технологии решается непосредственная задача добиться, чтобы процесс протекал в кинетической области и диффузионное торможение не оказывало влияние. Это достигается увеличением скорости течения созданием турбулентной фильтрации, утончением диффузного слоя связанной воды, применением интенсификаторов и др. Схема технологии приведена на рисунке. Загрязненные цезием приусадебные участки невозможно приблизить к обильным водоисточникам. Приходится использовать только то, что есть или можно создать в населенном пункте. Часто единственным водоисточником являются деревенские колодцы. Создание систем централизованного питьевого водоснабжения с использованием артезианских вод в населенных пунктах с числом жителей до 500 человек, как показали расчеты, экономически не оправдано. Повсеместно можно создавать мелкотрубчатые колодцы. Иногда можно построить пруд или копань. Некоторые населенные пункты расположены по берегам рек. При промывке загрязненных цезием земель серьезнейшей проблемой является загрязнение используемых водоисточников цезием. Поливная вода должна быть нерadioактивной. Найти обильный водоисточник в населенном пункте является проблемой, а тем более найти его с чистой водой.

В связи с этой проблемой исследованы следующие вопросы:

1. Вынос цезия продуктами водной эрозии и борьбы с эрозией почв.

2. Диффузия цезия в капиллярах ила и анализ возможности загрязнения

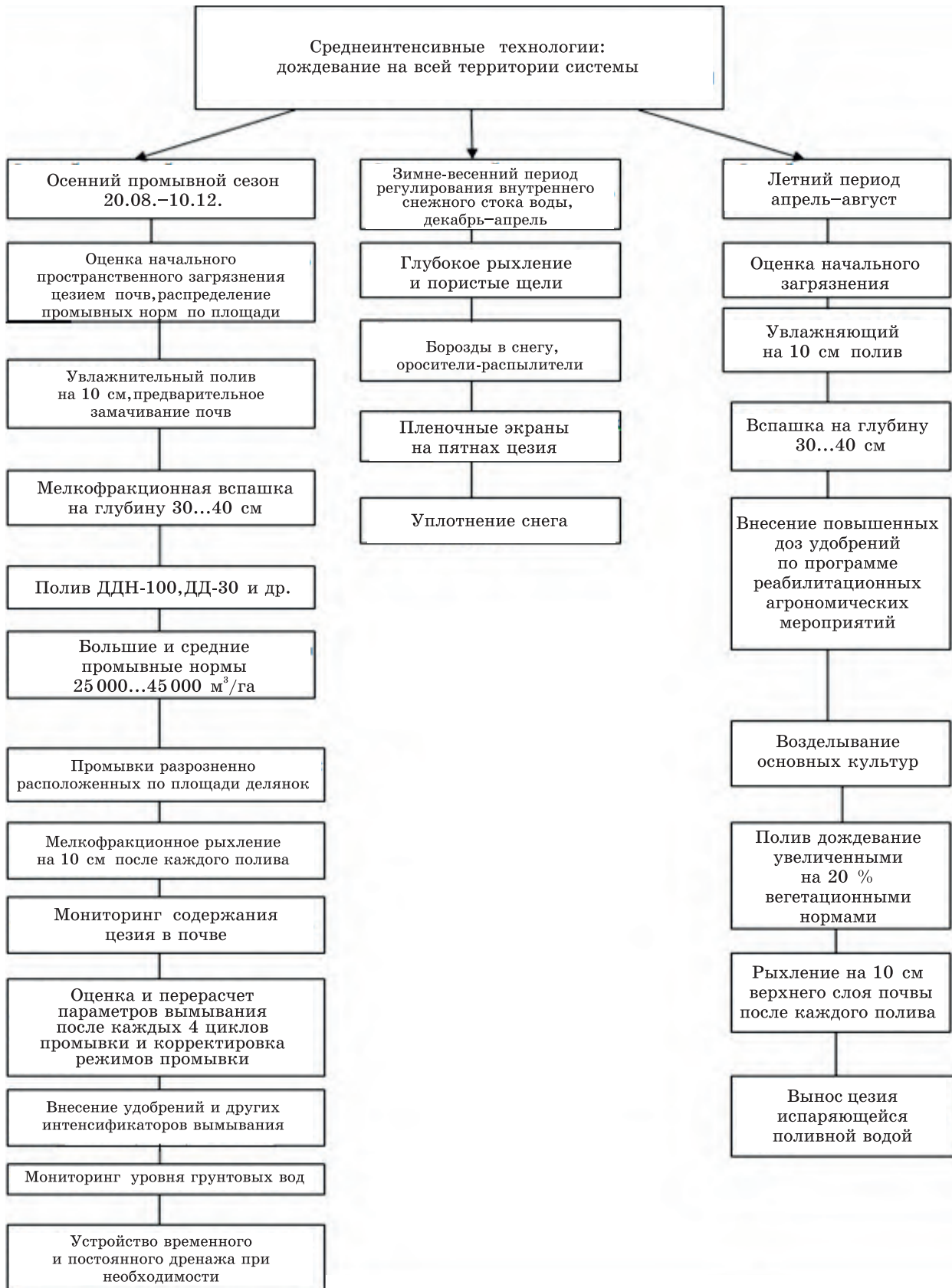


Схема среднеинтенсивной технологии промывки

подрусловых вод со стороны донных отложений прудов.

3. Осаждение цезия в отстойниках.
4. Роль биоканалов в очистке от радиоактивного загрязнения водоемов.
5. Самоочищение воды от радиону-

клиндов в водоемах.

6. Распределение цезия в донных отложениях прудов.
7. Миграция цезия в непроточных водоемах.
8. Мероприятия, снижающие

загрязнение цезием водоносного горизонта, используемого с помощью мелкотрубчатых колодцев.

9. Цеолиты как средства очистки воды от радионуклидов.

10. Предотвращение вторичного загрязнения воды радионуклидами цезия в водоемах.

11. Исследовались поливы водой из прудов, каналов, рек, бытовыми городскими сточными водами, стоками фермы КРС.

12. Получен патент на регулирование слоя воды, сливающейся в шахту водосброса на прудах, с целью снижения содержания наносов в воде, забираемой на орошение.

Проведение мероприятий по улучшению экологии источников орошения не исключает установки на напорных трубопроводах фильтров. На загрязненных цезием территориях объектом воздействия являются, прежде всего, почвы приусадебных участков, где затопление не приемлемо. Затоплению подвергаются только цезиевые пятна замкнутых понижений площадью несколько соток. Таких понижений на средней площади оросительной системы в 25 га может быть не более 5–7 суток. Поэтому основным способом орошения обосновано дождевание мобильными дождевальными устройствами (ДДН-100, ДДН-70, ДД-30).

Промывка производится дождеванием на всей площади оросительной системы населенного пункта с 20 августа по 10 декабря.

Сначала проводится полив, увлажняющий слой почвы 20–30 см, чтобы при последующей вспашке за почвообрабатывающем агрегатом не поднималась пыль. Осаждаясь, почвенные частицы сортируются и наверху оказываются мельчайшие фракции, обладающие наивысшей радиоактивностью и создающие повышенную дозу облучения людей. Этот полив создает и предварительное замачивание почвы, увеличивающее в последующем вымыв цезия.

Вспашка на глубину 30...40 см для разрушения плужной подошвы, закрытия всех ходов и трещин в почве.

Удобрения, как интенсификаторы вымыва перед промывным сезоном не

вносятся.

Продолжительность полива дождеванием на одной позиции (промывной делянки) зависит от типа дождевального устройства.

Дождевальный агрегат ДДН-100 с расходом 115 л/с, работая на одной позиции 12 часов, полет за сутки две позиции 2,88 га объемом воды 9936 м<sup>3</sup>. За промывной сезон 117 суток будет выдано 1 162 512 м<sup>3</sup>. За 9 суток будет полито 18 позиций или 25 га. За промывной сезон 117 суток можно провести 13 разовых поливов с промывной нормой 3 577 м<sup>3</sup> / га.

Дождевальные аппараты ДД-30 в количестве 2 штук польют 2,88 га расходом 60 л/с работая на одной позиции 12 часов, и выдадут объем воды 5 184 м<sup>3</sup> за сутки. Разовая промывная норма составит 1 800 м<sup>3</sup>/га. Поливая за сутки 4 позиции, 2 аппарата ДД-30 за промывной сезон 117 суток выдадут 606 528 м<sup>3</sup> на 25 га за 13 циклов. При 36 позициях одна делянка получит 16 848 м<sup>3</sup> или сезонную промывную норму 23 400 м<sup>3</sup>/га. Угроза подъема грунтовых вод усиливается при малом числе поливов большими нормами.

После каждого цикла промывки в течение 4...5 циклов на типичных делянках берутся пробы почвы для определения радиоактивности, определяются параметры вымыва, по предлагаемой нами методике расчета прогнозируется стабилизация вымыва по величине и времени наступления.

В случае отклонения темпов снижения вымыва от планируемого, режим промывки меняется:

а) поливы проводятся только в середине дня, когда почва прогреется;

б) вносятся удобрения, интенсифицирующие вымыв (хлористый калий, аммиачная селитра, известь);

в) применяются физические средства воздействия: насыщение поливной воды воздухом с помощью компрессора, ультразвуковая обработка воды;

г) возможен и такой сценарий: прекращение промывок в теплое время суток и возобновление, когда почва начнет подмерзать. После замерзания почвы вымыв усиливается;

д) корректировку вносят осенние дожди.

Экспериментальные данные по определению скорости фильтрации, полученные на супесчаной почве во время промывок, свидетельствуют, что интенсивность дождя ДДН-100 не превышает скорость фильтрации даже после 15 циклов (мы рекомендовали 13 циклов). На песчаной почве положение еще лучше. Интенсивность дождя, создаваемого аппаратом ДД-30, вообще не вызывает опасений. Тем не менее, необходимо постоянно контролировать образование поверхностного стока, прекращать полив и проводить глубокое рыхление при необходимости. В районах Брянской области, подвергшихся наиболее сильному радиоактивному загрязнению, преобладают дерново-подзолистые супесчаные и песчаные почвы. По данным Н. М. Белоуса и В. Ф. Шаповалова доза внутреннего облучения населения на этих почвах составляет 60...80 % от общей дозы облучения. На суглинистых дерново-подзолистых почвах 10...15 % [4].

После каждого цикла промывки спустя двое суток для подсыхания почвы, необходимо проводить мелкофракционное (до 1...2 мм) рыхление на глубину 10...20 см, где сосредоточено наибольшее количество цезия. Рыхление резко усиливает вынос цезия с испаряющейся водой. Но эффект рыхления проявляется и в сбережении глубинных слоев влаги, и в экономии промывной воды.

Промывки засоленных земель осуществляются тактами, до пяти тактов за сезон. Продолжительность одного такта до 1 месяца. Перерыв между тактами до 8 суток. Промывается сразу весь массив, минимум несколько сот гектар. Подъем грунтовых вод происходит на всем массиве и боковой отток грунтовых вод не значителен.

Подъем грунтовых вод при промывках дождеванием ДДН-100 будет происходить под делянкой 1,44 га и 0,72 га при поливе ДД-30. Продолжительность такого подъема 12 часов. До следующего полива этой же делянки проходит 8 суток, в течение которых будет происходить боковой отток грунтовых вод.

Для усиления бокового стока грунтовых вод целесообразно поливать разрозненно расположенные по площади делянки. В таких условиях основным дренажом должен быть временный дренаж.

#### Выводы

Промывные поливы дождеванием обеспечивают вымыв за разовый полив 1,8...2,15 % цезия.

Применение разработанной технологии позволит за период до 10 лет снизить дозу внешнего и внутреннего облучения людей на радиоактивно-загрязненных территориях до предусмотренной законом величины 1мЗв/год и оздоровить среду обитания населения.

1. Современные проблемы радиологии в сельскохозяйственном производстве: монография / Н. М. Белоус, С. А. Бельченко, Н. М. Дубенок [и др.]. – Рязань.: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2010. – 363 с.

2. Василенков С. В. Водохозяйственные реабилитационные мероприятия на радиоактивно загрязненных территориях: монография. – М.: МГУП, 2010. – 289 с.

3. Водохозяйственная радиология: учебное пособие / В. Ф. Василенков, С. В. Василенков, Д. В. Козлов. – М.: МГУП, 2009. – 413 с.

4. Продуктивность пашни и реабилитация песчаных почв: монография / Н. М. Белоус, В. Ф. Шаповалов. – Брянск: Изд. Брянской ГСХА, 2006. – 431 с.

5. Козлов Д. В. Приоритетные направления развития научно-исследовательской деятельности в области водного хозяйства. Инновационные технологии в мелиорации // Костяковские чтения: материалы международной научно-практической конференции. – М.: Изд. ВНИИА, 2011. – С. 8–13.

Материал поступил в редакцию 06.11.2015.  
**Василенков Сергей Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры природообустройства и водопользования  
 Тел: +7-483-412-45-90  
 E-mail: poivp@bgsha.com